



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**RACIONALIZACE VÝROBY SOUČÁSTI ZEMĚDĚLSKÉHO
STROJE**

ON THE PRODUCTION OF AN AGRICULTURAL MACHINERY PART AND ITS OPTIMIZATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Tenora

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Tomáš Tenora**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Racionalizace výroby součástí zemědělského stroje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza výroby součástí zemědělského stroje, rozbor jejího účelu, stávající technologie, zvážení alternativních technologií, ověření, závěry pro praxi.

Cíle diplomové práce:

1. Popis a rozbor aplikovaných technologií ve výrobním procesu.
2. Analýza stávajícího stavu výrobního procesu.
3. Návrh zefektivnění výrobního procesu.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam literatury:

JECH, J. Tepelné zpracování oceli: metalografická příručka. 4., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983.

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu I. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, tisk FINAL TISK Olomoučany, 2001, 1. vyd., 516 s. ISBN 80-7204-193-2.

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu II. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, tisk FINAL TISK Olomoučany, 2001, 1. vyd., 360 s. ISBN 80-7204-130-4.

BARÁNEK, I. Rezné materiály pre rýchlostné, tvrdé a suché obrábanie. TU Alexandra Dubčeka v Trenčíne, 1. vyd., Slovensko, Trenčin, s. 112. ISBN 80-8075-013-0.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástrojů. VŠ učebnice. Brno : CERM, 2006. s. 230. 1. vyd. ISBN 80-214-2374-9.

JUROVÁ, M. Řízení výroby I., část 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005. ISBN 80-214-3066-4.

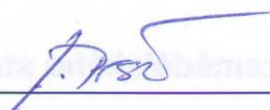
SYNEK, M. Výroba. In: SYNEK, M., eds. Manažerská ekonomika. Praha: Grada, 2011, s. 251-276. ISBN 978-80-247-3494-1.

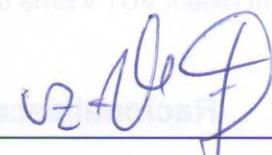
TOMEK, G., VÁVROVÁ, V. Řízení výroby. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-80-7169-578-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 4. 11. 2016




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu


doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá procesem obrábění výkovku ojnice, a to ve spolupráci se společností Zetor Tractors a.s. První kapitola práce je zaměřena na bližší představení společnosti. Druhá kapitola obsahuje podrobnější rozbor technické dokumentace a požadavků na výrobu předmětu studie, tedy sestavy ojnice. Ve třetí kapitole je detailně rozebrána a popsána stávající technologie výroby. Čtvrtá kapitola si klade za cíl návrh nové technologie použitelné pro výrobu ojnice v požadované jakosti. Pátá kapitola je zacílena na samotné testování nově navržené technologie. V poslední, tedy šesté kapitole je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení navrženého postupu.

Klíčová slova

ojnice, CNC obrábění, traktor, racionalizace, motor

ABSTRACT

This master's thesis deals with the process of machining a forged connecting rod in cooperation with the company Zetor Tractors a.s. The first chapter of the thesis is focused on a detailed introduction of the company. The second chapter includes an elaborate analysis of the technical documentation and requirements concerning the making process of the subject of study, specifically the construction of the connecting rod. In the third chapter, the current production technology is discussed and described in detail. The aim of the fourth chapter is to propose an innovative technology which can be used for the production of connecting rods in the required quality. The fifth chapter is aimed at testing the newly designed technology. In the final, sixth, chapter, a technical and economical evaluation of the proposed procedure is performed.

Key words

connecting rod, CNC machining, tractor, racionalization, engine

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TENORA, T. *Racionalizace výroby součástí zemědělského stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 77 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Racionalizace výroby součástí zemědělského stroje** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Tomáš Tenora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval panu prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za odborné vedení, cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále pak panu Ing. Ľubomíru Mesárošovi z firmy Zetor Tractors a.s. za ochotu a vstřícnost při zpracování závěrečné práce.

Následující dík patří odborníkům z firmy Zetor Tractors a.s., zejména paní Evě Hanusové za vstřícnost, poskytnutí materiálů a nezbytných informací. Poděkování patří také technikům VUT za ochotu při testování obrábění. V neposlední řadě děkuji také své rodině, přítelkyni a přátelům, kteří mi byli po dobu studia oporou.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	9
1 HISTORIE FIRMY	10
1.1 První traktory.....	10
1.2 Současné traktory	11
1.2.1 Unifikovaná řada I.....	11
1.2.2 Unifikovaná řada II.....	12
1.2.3 Unifikovaná řady III.....	12
1.2.4 Jednotná lehká řady traktorů JRL.....	12
2 ROZBOR TECHNICKÉ DOKUMENTACE	13
2.1 Materiál součásti	13
2.2 Tvar a rozměry součásti.....	14
2.2.1 Tělo ojnice	14
2.2.2 Víko ojnice	14
2.3 Požadavky na drsnost povrchu	15
2.4 Požadavky na geometrickou toleranci.....	15
3 POPIS A ROZBOR APLIKOVANÝCH TECHNOLOGIÍ VE VÝROBNÍM PROCESU	16
3.1 Protahování.....	16
3.1.1 Použité stroje.....	17
3.1.2 Použité nástroje.....	20
3.2 Vrtání	20
3.2.1 Použité stroje.....	23
3.2.2 Použité nástroje.....	25
3.3 Frézování	27
3.3.1 Čelní frézování	27
3.3.2 Použité stroje.....	31
3.3.3 Použité nástroje.....	32
3.4 Broušení.....	33
3.4.1 Použité stroje.....	36
3.4.2 Použité nástroje.....	37

4	NÁVRH NOVÉHO ZPŮSOBU OBRÁBĚNÍ	39
4.1	Technologický postup	39
4.1.1	Tělo ojnice	39
4.1.2	Víko ojnice	40
4.2	Volba obráběcího stroje	40
4.3	Seznam použitých nástrojů	41
4.4	Návrh výkonných nástrojů pro produktivní obrábění	42
4.4.1	Nástroje pro frézování	42
4.4.2	Nástroje pro vrtání	44
4.4.3	Cena navržených nástrojů	46
4.5	Přípravky	47
5	TESTOVÁNÍ NOVÉHO NÁVRHU OBRÁBĚNÍ	49
5.1	Stroj použitý pro testování	49
5.2	Rozbor technologického postupu	49
5.3	Dosažená přesnost výrobku	54
5.3.1	Drsnost povrchu	54
5.3.2	Rozměrová přesnost	55
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	58
6.1	Porovnání pracnosti	58
6.1.1	Dosavadní technologie	58
6.1.2	Nově navržená technologie	59
6.1.3	Nově navržená technologie s použitím produktivních nástrojů	61
6.2	Porovnání výrobních prostor	64
6.3	Porovnání obsluhy	65
	ZÁVĚR	66
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	67
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	69
	SEZNAM PŘÍLOH	71

ÚVOD

V dnešní době existuje globálně velmi velká konkurence napříč různými odvětvími. Z tohoto důvodu se snaží každá firma co nejvíce snížit výrobní náklady svých výrobků, aby v tomto směru předčila své konkurenty a vyhoupla se na vrchol odvětví, ve kterém působí.

Regulace ceny výroby lze provést několika způsoby, jedním z nich je zefektivnění výrobního procesu, tedy použití modernizovanějších strojů, nástrojů, popřípadě nových technologií při výrobě, a tím možné dosažení nejen časové, ale i finanční úspory.

Řešená součást, tedy ojnice, je vyráběna technologií rozkládající se na ploše cca 230 m². Variant úspory je hned několik. Od úspory výrobních prostor počínaje přes počet pracovníků obsluhy, až po úsporu údržby původních nástrojů a strojů.

Ojnice, jakožto finální výrobek slouží jako ojnice motoru zemědělského traktoru. Jak je známé, tak motory musí mít dostatečnou životnost, která zaručí spokojenost zákazníků a v neposlední řadě ovlivní i servisní zásahy do stroje.

V důsledku dodržení rozměrových přesností a tolerancí jsou obě součásti po hrubovací operaci sestaveny v celek. Tento výrobní celek je pak dále obráběn jako jeden obrobek. Z tohoto důvodu je finální obrábění, tedy přesné frézování, broušení a vyvažování prováděno na lince, která je dostatečně přesná a pro firmu výhodná.

Cílem diplomové práce je nahradit první polovinu výrobní linky, tedy část zabírající plochu 230 metrů čtverečních za alternativní obráběcí stroj, na kterém bude možné hrubovat každou součást (tělo ojnice a víko ojnice) samostatně, za předpokladu dodržení požadovaných rozměrů, tolerancí a střední aritmetické úchyly profilu.

1 HISTORIE FIRMY

Zetor (oficiálně od 1. ledna 2007 Zetor Tractors a.s.) je český výrobce zemědělských traktorů se sídlem v Brně-Líšni. Firma nabízí ve svém portfoliu 4 řady modelů s výkonem od 60 do 170 koní [1].

Jediným akcionářem firmy Zetor Tractors a.s. je slovenská společnost HTC holding, která začala s finanční stabilizací a restrukturalizací podniku 29. června 2002, kdy došlo k majetkovému odkoupení od státu [1].

Budovy firmy vznikly v období druhé světové války tzv. „na zelené louce“ v oblasti dnešní městské části Brno-Líšeň. Jednalo se o budovy patřící k továrně s názvem „Flugmotorenwerke Ostmark GmbH Wien, Zweigwerk“, která vyráběla letecké motory pro potřeby nacistického Německa. Po válce se tamější budovy staly součástí Zbrojovky Brno, kde vznikaly první traktory [1].

Značka Zetor vznikla jako složenina písmene „Z“ jakožto první písmeno jiné brněnské firmy (Zbrojovka Brno), kde vznikaly první traktory, a posledních dvou písmen slova „Traktor“ [2].



Obr. 1.1 Logo společnosti [3].

1.1 První traktory

V listopadu roku 1945 dokončila továrna první prototyp traktoru. Jednalo se o model Z 25 (viz Obr. 1.2). První kusy tohoto modelu byly zákazníkům slavnostně předány 15. března 1946. O několik málo měsíců později vydala živnostenská komora Republiky československé ochrannou známku pro značku Zetor [1].

Sériová výroba traktorů (Z 25) pak byla zahájena 17. srpna 1946 a do konce roku 1947 bylo vyrobeno přibližně 3400 kusů. Následoval vývoj a výroba dalších modelů (např. Zetor 15, Zetor 25A a 25K, Zetor 30, Zetor 35 a Zetor 50) [1; 2].



Obr. 1.2 Zetor Z 25 [1].

1.2 Současné traktory

Současná produkce traktorů Zetor se opírá o doposud nejsilnější verzi traktoru s označením „Crystal“. Jedná se o traktor s šestiválcovým motorem o výkonech 144 a 163 koní. Jde o takzvanou vlajkovou loď společnosti, která byla doplněna do nabídky v roce 2015 a navazuje tak na legendární stroje ze sedmdesátých let [1].

Zetor nabízí ovšem více variant traktorů současné produkce. Zastoupení v ní mají traktory s označením jako „Forenterra“, „Proxima“ a „Major“ a jejich modifikace týkající se výkonů a variability převodovek [1; 2].



Obr. 1.3 Zetor Crystal [4].

1.2.1 Unifikovaná řada I.

Ve zkratce UŘ I. Jednalo se o progresivní a jedinečnou koncepcí s využitím unifikovaných prvků, tedy shodných dílů pro různé modely, a tím se značně zjednodušila a ulehčila výroba a servis [1; 4]

S nápadem unifikovaných prvků přišel Zetor v šedesátých letech dvacátého století a na první UŘ se začalo pracovat v roce 1957 a to na modelech (2011, 3011, 4011). Následovalo doplnění několika nových modelů a v letech 1968-1969 proběhla první modernizace UŘ I z celkových šesti modernizací. Výsledkem byly modely jako (2511, 3511, 4511 a 5611). V roce 1972 proběhla v pořadí druhá a v letech 1977-1978 třetí modernizace [1; 5].

Následná čtvrtá modernizace (1980-1981) přinesla modely jako (5011, 6011, atp.) s novým designem a zpřísněnými emisními podmínkami. Poté v roce 1984 proběhla v pořadí již pátá modernizace a o dva roky později následovala již poslední, a to šestá modernizace s modely 7711 a 7745, které se pyšnily maximální rychlostí až 30 km/h [1; 5].

1.2.2 Unifikovaná řada II.

UŘ II. byla symbolem traktorů s vyššími výkony 80-160 koňských sil. Vývoj a výroba byla zahájena v 60. letech. Roku 1962 vzniklo vývojové středisko Zetor, Ursus. Řada se pyšnila modely jako (12045 a 16045 Crystal), jenž jsou předchůdci dnešní nejmodernější a nejsilnější varianty Zetoru Crystal viz Obr. 1.3 [1; 2].

V 80. letech byla výroba těchto traktorů převedena na Slovensko, kde v závodech ZTS MARTIN prošly dvěma modernizacemi a na trh byly uváděny jako Zetor ZTS [1; 2].

1.2.3 Unifikovaná řady III.

Řada, na které se začalo v brněnské firmě Zetor pracovat v roce 1972, ale do sériové výroby se dostala až v roce 1992. Obsahovala modely jako (9540 a 10540). Roku 1998 proběhla první modernizační etapa a výsledkem byly traktory s označením Forterra. Traktory s tímto označením procházely modernizací až do roku 2007, kdy byla vyrobena Forterra s označením 11741 obsahující šestiválcový motor [1; 2; 5].

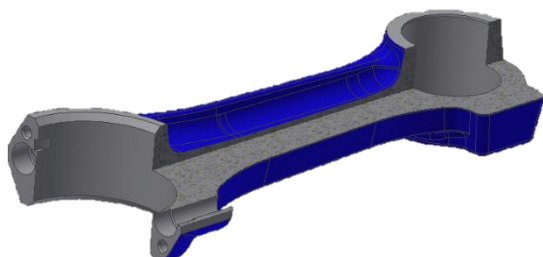
V roce 1992 UŘ III. Převzala dosavadní výrobu UŘ I. a postupně modernizovala modely z nižší výkonnostní skupiny [1; 2].

1.2.4 Jednotná lehká řady traktorů JRL

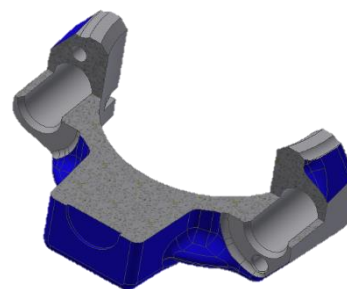
Oficiální řada s názvem Proxima přišla na trh roku 2004 s modely (6421, 6441, atp.) a pro rok 2007 již byla připravena inovace v podobě názvu Proxima Plus. Koncem roku 2008 se začíná s výrobou řady Proxima Power. Jedná se o stroj s převodovkou vybavenou elektrohydraulickým reverzním řazením [1; 5].

2 ROZBOR TECHNICKÉ DOKUMENTACE

Kapitola se skládá z více částí. Především se jedná o prostudování výkresové dokumentace (viz Příloha 1,2), následně bude detailně popsán a rozebrán technologický postup firmy (viz Příloha 3,4) a v neposlední řadě materiálové vlastnosti, či technologičnost součásti.



Obr. 2.1 Tělo ojnice.



Obr. 2.2 Víko ojnice.

2.1 Materiál součásti

Polotovarem součásti je výkovek dodávaný v předepsané jakosti dodavatelskou firmou úzce spolupracující s firmou Zetor Tractors a.s. již několik let.

Výchozím materiálem pro výrobu ojnice je nízkolegovaná konstrukční ocel třídy 14, přesněji se jedná o ocel 14 240.3 ve stavu žíhaném na měkko. Ekvivalentní označení dle DIN 1.5069 36Mn5.

Jedná se o ocel legovanou prvky Mn-Cr, která je vhodná k zušlechťování pro velké výkovky. Výchozí ocel je velmi dobře tvárná, také dobře obrobitelná, ovšem disponuje obtížnou svařitelností. Její použití je vhodné pro středně namáhané součásti (zalomené hřídele řetězových kol, ojnice, čepy atd.) [6; 7].

Dle normy ČSN EN 10083-3 je základní chemické složení uvedeno v Tab. 2.1.

Tab. 2.1 Chemické složení materiálu [7].

	Fe [hm. %]	C [hm. %]	Mn [hm. %]	Si [hm. %]	Cr [hm. %]	P [hm. %]	S [hm. %]
Chemické složení	96,86 až 97,81	0,32 až 0,40	1,50 až 1,90	0,17 až 0,37	0,20 až 0,40	Max. 0,035	Max. 0,035
Dovolené úchyly chemického složení v hotovém výrobku		±0,02	±0,10	-0,03 +0,05	-0,05 +0,10		

2.2 Tvar a rozměry součástí

Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, tak polotovarem od dodavatele je výkovek z nízkolegované konstrukční oceli třídy 14, respektive 14 240.3 a podléhá určitým rozměrovým tolerancím.

Vyráběná ojnice se skládá ze dvou součástí (viz Obr. 2.1 a Obr. 2.2). Jedná se o tělo ojnice a o víko ojnice. Každá z těchto dvou součástí je kována samostatně, nejedná se tedy o ojnici kovanou jako jeden kus a poté pomocí tenké pily dělenou.

Součásti jsou v první části výrobního procesu pouze hrubovány, a to tím způsobem, že každá část, tedy tělo ojnice a víko ojnice, jsou hrubovány zvlášť. Původní technologický postup je uveden v Příloze 3 a 4. Součásti se po hrubování spojí v celek pomocí vyrobených otvorů a šroubů. Poté se obrábí jako celek na finální rozměry uvedené v Příloze 1 a 2, tj. výkresy součástí.

2.2.1 Tělo ojnice

Jak plyne z původního technologického postupu, tak tělo ojnice je v první fázi protahováno na šířku $40,2_{-0,05} \text{ mm}$. Následuje vyvrtání otvoru $\varnothing 43,2 \text{ H8}$. V následující operaci je protažen tvar na šířku ojnice $104_{-0,1} \text{ mm}$, středy otvorů na vzdálenost $215,3_{-0,1} \text{ mm}$ a půlkruhový otvor na $\varnothing 68,3^{+0,1} \text{ mm}$. Další operací je vyvrtání otvoru $\varnothing 12,5 \text{ mm}$ sloužící jako předvrtaný otvor pro závit M14 x 1,5. Pro funkci odlehčení slouží otvor $\varnothing 14,2 \text{ H11}$. Předvrtání otvoru $\varnothing 4,7 \text{ mm}$ slouží pro umístění středících kolíků. Poslední operací je vyfrézování drážky 5D11.

2.2.2 Víko ojnice

U víka ojnice je stejně jako u těla nejdříve protažena šířka na $40,2_{-0,05} \text{ mm}$. V další operaci je provedeno ofrézování přebytečného materiálu z čela na rozměr $34,3 \pm 0,1$ a následné protažení tvaru na šířku $104_{-0,1} \text{ mm}$ s půlkruhovým otvorem $\varnothing 68,3^{+0,1} \text{ mm}$. Operace vrtání obsahuje vyvrtání $\varnothing 13,5 \text{ mm}$ s následným vyhrubováním $\varnothing 14,2 \text{ H11}$ a poté i předvrtáním $\varnothing 4,7 \text{ mm}$. Poslední operací je vyfrézování drážky 5D11.

2.3 Požadavky na drsnost povrchu

Drsnost povrchu určena hodnotou Ra (střední aritmetická úchylka profilu povrchu). U neoznačených ploch je hodnota Ra 25 μm .

Z důvodu, že je diplomová práce zaměřena na nahrazení hrubovací výrobní linky je patrné, že téměř většina hrubovaných ploch bude v dokončovací části linky dále obráběna na finální rozměry. Výjimkou jsou dosedací plochy pro sestavení obou částí v celek. Požadavky na drsnost povrchu zmíněných ploch jsou Ra 1,6 μm . Hodnota střední aritmetické úchylky povrchu Ra 6,3 μm je předepsána pro otvory určené ke spojení obou částí ojnice. Zmíněné otvory jsou obráběny také již na finální rozměry.

2.4 Požadavky na geometrickou toleranci

Na výkrese těla ojnice jsou předepsány tři technologické základny „B“, „E“ a „C“. K základně „B“ se vztahuje kolmost otvorů pro spojení obou částí ojnice a také rovinnost s plochou $\varnothing 70H5$. Základna „E“ zahrnuje kolmost základny „C“ a rovnoběžnost plochy o průměru $70H5$. Poslední základny těla ojnice, tedy základny „C“ zahrnuje rovinnost otvorů a kolmost otvoru pro připojení pístu.

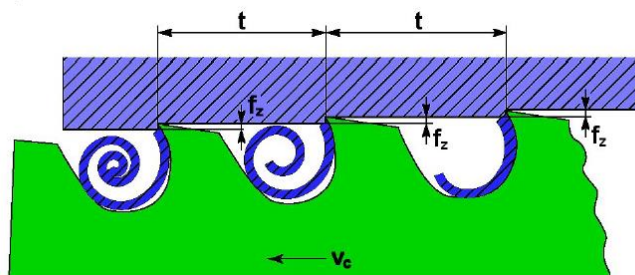
3 POPIS A ROZBOR APLIKOVANÝCH TECHNOLOGIÍ VE VÝROBNÍM PROCESU

K zhotovení zadané součásti je využívána linka jednoúčelových strojů vyrobených a sestavených pro předpoklad velké sériové výroby ojnic. Původní myšlenka vychází s roční produkcí až 40 000 kusů. V používané hrubovací lince jsou zahrnuty operace jako protahování, frézování, vrtání, výroba závitů a v neposlední řadě broušení.

3.1 Protahování

Protahování je vysoce produktivní metoda obrábění, jenž se využívá zejména v sériové a hromadné výrobě. Jelikož protahovací nástroje jsou velice nákladné na výrobu a údržbu, tak se nevyplácí je využívat pro menší výrobní série. Zmíněnou technologií jsou vysoce produktivním způsobem obráběny nejenom tvarové díry, ale také vnitřní a vnější tvarové plochy [8; 9].

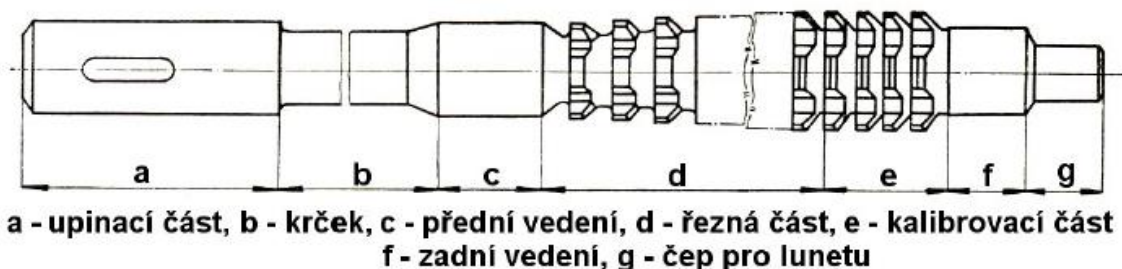
Mezi významné faktory vysoké produktivity této metody patří krátké jednotkové strojní a vedlejší časy. Tato metoda patří mezi nákladnější, co se pořizovacích nákladů nástrojů týká. Metoda je vhodná zejména pro velkosériovou a hromadnou výrobu [9].



Obr. 3.1 Princip protahování [9].

Princip metody protahování je postupný záběr f_z [mm] jednotlivých po sobě jdoucích zubů nástroje do obráběného materiálu (viz Obr. 3.1). Nástroj se pohybuje relativním pohybem vůči obrobku rychlostí v_c [m.min⁻¹]. Obráběnou délku L [mm] obrábí právě tolik zubů, kolik jich je zde vměstnaných s roztečí t [mm] [9].

Protahovací trny mají zuby řezací, kalibrovací a při vysokých nárocích na kvalitu obrobené plochy ještě zuby hladící. Mezi kladné dopady této úpravy se řadí také jakost obrobeného povrchu a objemový součinitel třísky. Protahovací trny jsou namáhány výhradně tahovým napětím a jejich délka může dosahovat až 2 000 mm [9; 10].



Obr. 3.2 Konstrukce protahovacího trnu [9].

Protahovací trny jsou vyráběny z rychlořezných ocelí, nebo také ze slitinových ocelí. Povrch funkčních ploch zubů je pokryt vrstvou různých povlaků, které slouží k zvýšení trvanlivosti nástroje [9].

Nedílnou součástí protahování je i používání procesních kapalin, které slouží výhradně ke snížení třecích koeficientů a chlazení obráběcího procesu. Tímto krokem se výrazně ovlivní přesnost rozměrů a drsnost obráběných ploch [9].

Protahovací stroje neboli protahovačky jsou řešeny jako vodorovné, nebo jako svislé. Výhodou svislých protahovaček je využití vlastní váhy nástroje k obrábění protahováním. Velikost a počet protahovacích nástrojů závisí především na průtažné síle stroje, jenž se pohybuje v rozsahu 20 000 N až 600 000 N [9; 10].

3.1.1 Použité stroje

Pro technologii protahování jsou ve firmě Zetor Tractors a.s. použity 2 typy protahovaček. Jedná se o svislé protahovačky s segmentovými protahovacími trny. Na Obr. 3.3 je zobrazena protahovačka RASA 16 KLINK, která má za úkol protahovat šířku těla ojnice (Obr. 3.5) a víka ojnice (Obr. 3.6).

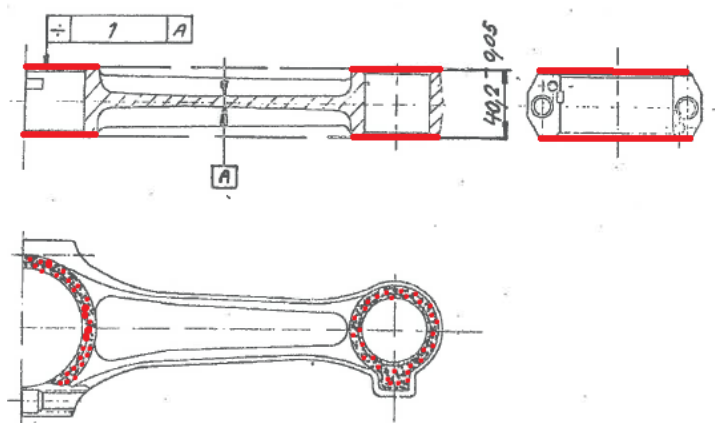
Pro změnu Obr. 3.4 zobrazuje svislou protahovačku MP 7783, která na dvě upnutí protahuje tvar hřídelové části těla ojnice (Obr. 3.7) i víka ojnice (Obr. 3.8).



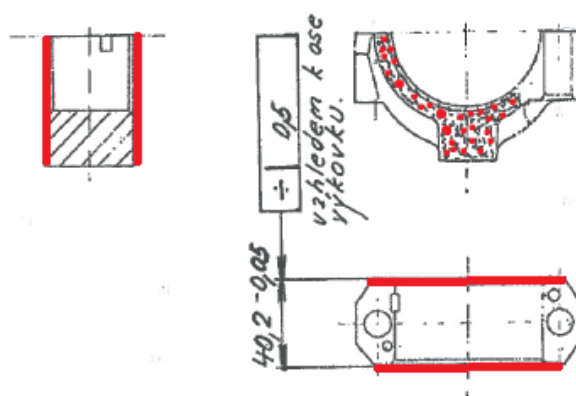
Obr. 3.3 Protahovačka šířky ojnice RASA 16 KLINK s protahovacími trny.



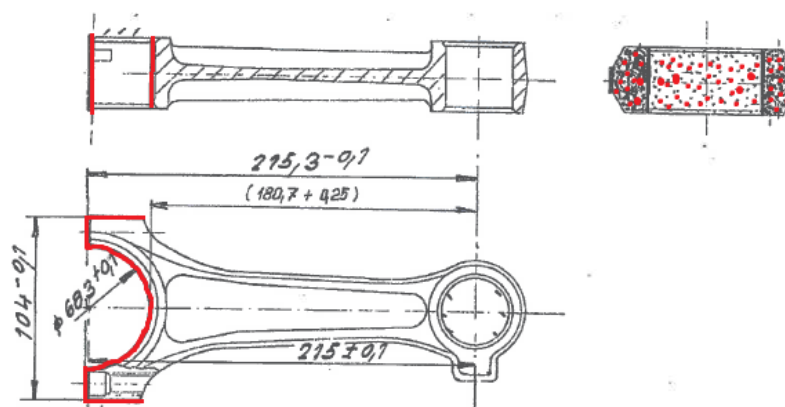
Obr. 3.4 Protahovačka čel a otvoru ojnice NP 7783 s protahovacími trny.



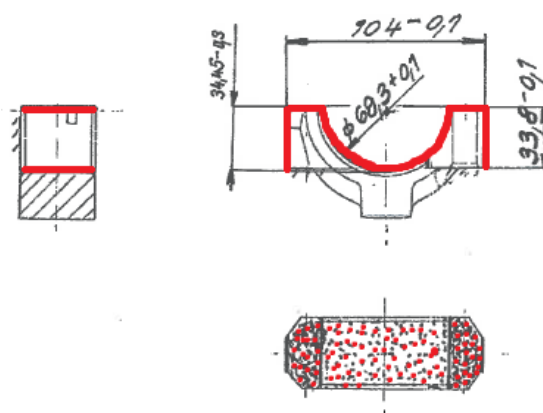
Obr. 3.5 Protahování šířky těla ojnice [11].



Obr. 3.6 Protahování šířky víka ojnice [11].



Obr. 3.7 Protahování tvaru těla ojnice [11].



Obr. 3.8 Protahování tvaru víka ojnice [11].

3.1.2 Použité nástroje

Nástroje použité pro protahování šířky ojnic jsou segmentové protahovací trny (viz Obr. 3.3 a Obr. 3.4). Postupně se protahuje hřídelová část těla ojnice, na kterou jsou použity 2 hrubovací segmenty, poté 17 pilkových segmentů a tato operace protahování je zakončena dvěma kalibrovacími segmenty.

Obdobná technologie i počty jsou použity pro pístovou část těla ojnice. Dohromady tedy i pro pístovou část je nutno 21 segmentů.

Poslední a zároveň nejjednodušší částí na protahování šířky je víko ojnice. Zde je použito 6 segmentů. Jedná se o 3 pravé a 3 levé. Celkový počet pro konečné obrobení šířky těla ojnice a víčka je tedy 58 segmentů.

Tab. 3.1 Použité řezné podmínky pro protahování [8].

	značka	hodnota	jednotka
Posuv na zub	f_z	0,07	[mm]
Řezná rychlost	v_c	20	[m.min ⁻¹]

3.2 Vrtání

Metoda vrtání je ve většině případů realizována dvoubřítým nástrojem. Jde o obrábění vnitřních rotačních ploch do plného materiálu, nebo již zvětšování předvrtaného otvoru. Ve většině případů koná hlavní pohyb, tedy rotační pohyb, obráběcí nástroj, ovšem méně častější koná hlavní rotační pohyb obrobek [8; 9].

Zpravidla je osa vrtáku kolmá k ploše, na níž vrták vstupuje do materiálu. Vedlejší, tedy posuvný pohyb vykonává obráběcí nástroj [8; 9].

Hlavními veličinami zasahujícími do procesu vrtání jsou řezná rychlost v_c , posuvová rychlost v_f , a rychlost řezného pohybu v_e . Tyto veličiny je možné vyjádřit pomocí následujících vztahů [9].

Výpočet řezné rychlosti pro vrtání [8]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} \quad (3.1)$$

kde:

- v_c [m.min⁻¹] - řezná rychlost,
- D [mm] - průměr vrtáku,
- n [min⁻¹] - otáčky nástroje.

Výpočet rychlosti posuvu pro vrtání (viz Obr. 3.9) [9]:

$$v_f = f \cdot n \quad (3.2)$$

kde:

- v_f [mm.min⁻¹] - posuvová rychlost,
- f [mm] - posuv nástroje na jednu otáčku,
- n [min⁻¹] - otáčky nástroje.

Výpočet rychlosti řezného pohybu při vrtání [9]:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 10^{-3} \cdot n \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + f^2} \quad (3.3)$$

kde:

- v_e [m.min⁻¹] - rychlost řezného pohybu,
- D [mm] - průměr vrtáku,
- n [min⁻¹] - otáčky nástroje,
- f [mm] - posuv nástroje na jednu otáčku.

Z důvodu, že vrtáky, a hlavně výhrubníky a výstružníky jsou vícebřité nástroje, je dobré definovat i hodnotu posuvu na zub f_z .

Výpočet hodnoty posuvu na zub [9]:

$$f_z = \frac{f}{z} \quad (3.4)$$

kde:

- f_z [mm] - posuv na zub,
- z [-] - počet zubů,
- f [mm] - posuv nástroje na jednu otáčku.

Výpočet strojního času pro vrtání [9]:

$$t_{AS} = \frac{l + l_n + l_p}{f \cdot n} \quad (3.5)$$

kde:

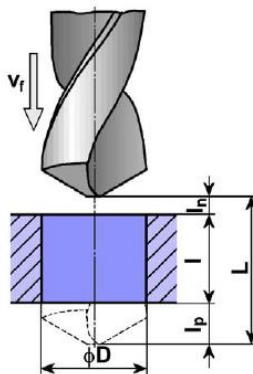
- t_{AS} [min] - jednotkový strojní čas,
 l [mm] - hloubka díry,
 l_n [mm] - délka náběhu,
 l_p [mm] - délka přeběhu,
 f [mm] - posuv nástroje na jednu otáčku
 n [min⁻¹] - otáčky nástroje

Výpočet délky náběhu [9]:

$$l_n = 1 + \frac{D}{2 \cdot \operatorname{tg}(\frac{\varepsilon}{2})} \quad (3.6)$$

kde:

- l_n [mm] - délka náběhu,
 D [mm] - průměr vrtáku,
 $\varepsilon = 2\kappa_r$ [°] - vrcholový úhel vrtáku.



Obr. 3.9 Vrtání do plného materiálu [9].

Velký důraz při vrtání je kladen na typ a odvod třísek z místa řezu materiálu. Rozhodující vliv na tvorbu třísky má geometrie nástroje, řezné podmínky, materiál obrobku a způsob chlazení [8; 9]

3.2.1 Použité stroje

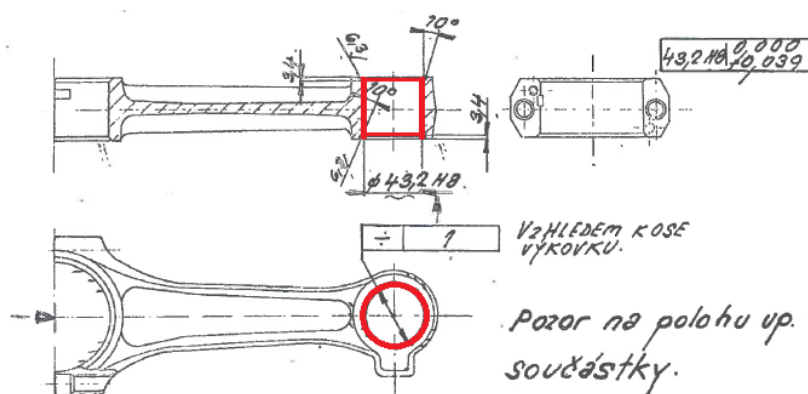
Metoda vrtání je na součástce použita pro zhotovení otvoru $\varnothing 43,2 H8$ do plna (viz Obr. 3.12), tedy do výkovku. Jedná se o otvor sloužící k upevnění do montážní sestavy, respektive k pístu motoru. Metoda je realizována na jednoúčelovém stroji JUS AIZ 509 (viz Obr. 3.10).



Obr. 3.10 Vrtací jednoúčelový stroj AIZ 509.

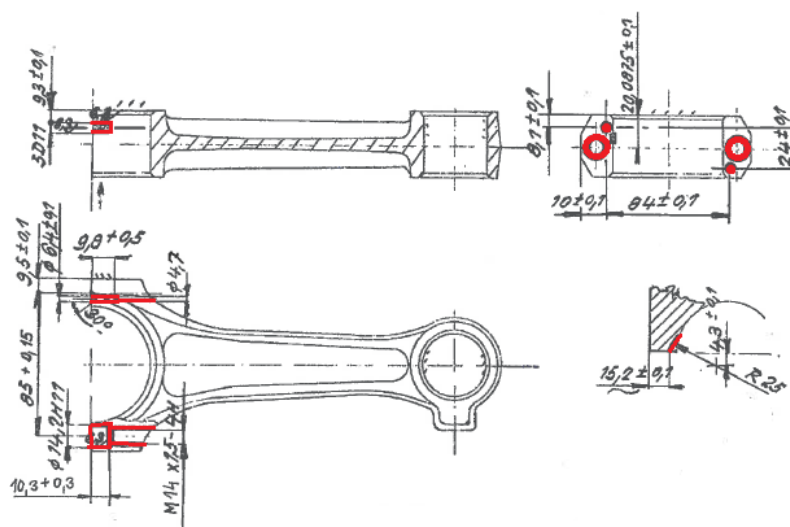


Obr. 3.11 Vrtací jednoúčelový stroj AIZ 539.

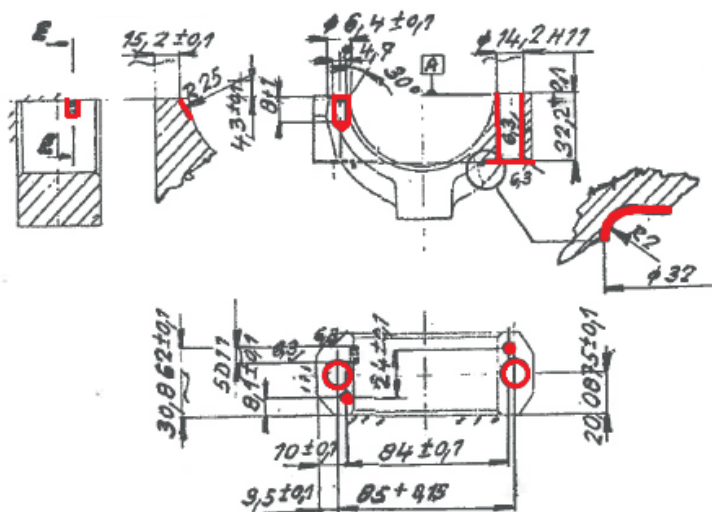


Obr. 3.12 Vrtaný průměr na součástce [11].

Operace vrtání je užita i v následujících operacích. Jedná se především o vrtání otvorů pro sestavení těla ojnice a víka ojnice v jeden celek. Jednouúčelový stroj pro vrtání následujících otvorů je zobrazen na Obr. 3.11. Na součástce těla ojnice a víka ojnice jsou dva druhy otvorů. První otvor slouží pro středící kolík $\varnothing 4,7$ mm se sražením hrany 30° . Druhým typem otvoru je $\varnothing 14,2$ H11. Výše zmíněné vrtané otvory jsou zobrazeny na Obr. 3.13 a Obr. 3.14.



Obr. 3.13 Otvory vrtané na součástce těla ojnice [11].



Obr. 3.14 Otvory vrtané na součástce víka ojnice [11].

3.2.2 Použité nástroje

Jako nástroje pro vrtání všech uvedených rozměrů jsou použity šroubovitě vrtáky z rychlořezné oceli, tedy HSS. V následujících odstavcích jsou uvedeny všechny nástroje použité pro vrtání a vyhrubování v původní technologii společně s používanými řeznými podmínkami.

Vyhrubovací operace, které jsou také využity v původním výrobním procesu jsou realizovány pomocí HSS výhrubníků a vrtacích hlav s výměnnými břitovými destičkami.

a) Tělo ojnice

▪ Vrtání otvoru $\varnothing 43,2$ H8

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.3.1, tak na součástce těla ojnice je vrtán $\varnothing 43,2$ H8. V 1. operaci je předvrtán otvor $\varnothing 20$ mm téměř přes celou šířku těla ojnice. V operaci č. 2 je vrtán $\varnothing 42$ mm do poloviny šířky ojnice. Operací č. 3 je vrtání průchozího otvoru $\varnothing 41$ mm.

Následující čtvrtá operace zajišťuje vyhrubování $\varnothing 42,8$ mm. Poslední operací je vyhrubování $\varnothing 43,2$ H8 mm pomocí frézovací hlavy s VBD. Tab. 3.2 ukazuje použité řezné podmínky jednotlivých nástrojů použitých pro vrtání a vyhrubování.

Tab. 3.2 Použité řezné podmínky pro vrtání a vyhrubování.

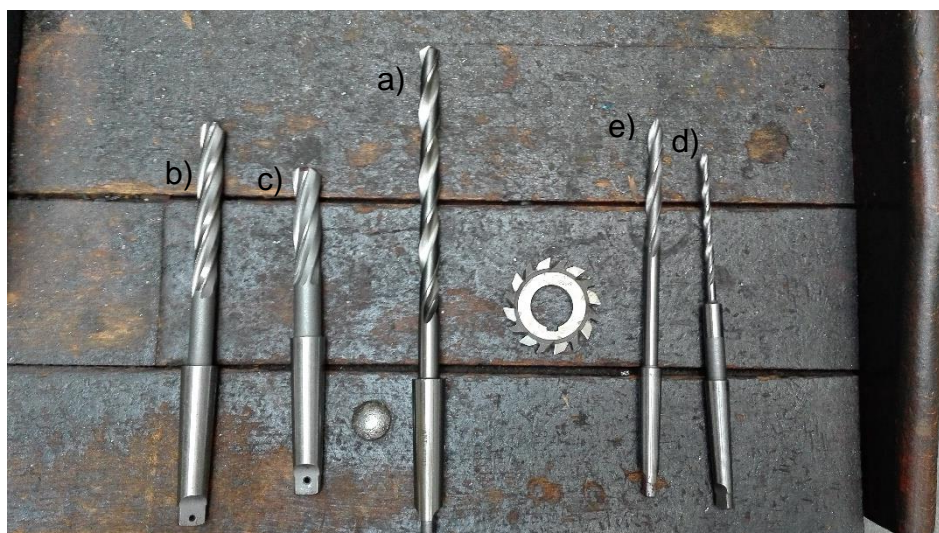
Nástroj	Průměr [mm]	Posuv na otáčku f [mm]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Otáčky n [min ⁻¹]	Materiál	Označení
Vrták	20	0,22	22	350	HSS	
Vrták	42	0,30	18	160	HSS	
Vrták	41	0,30	19	165	HSS	
Výhrubník	42,8	0,15	200	1487		SSKCR 10CA-09-M
					DP 3000	SCGX 09T308-P2
Výhrubník	43,2	0,10	244	1800		SSKCR 10CA-09-M
					P10-20	SCMT 09T308-16

▪ Vrtání otvoru $\varnothing 14,2$ H11 a $\varnothing 4,7$ mm

Pro spojení těla a víka ojnice se v těle ojnice vrtají dva druhy otvorů. První z nich jsou otvory pro středící kolíky o $\varnothing 4,7$ mm se sražením 30° . Řezné podmínky nastavené pro vrtání na JUS AIZ 539 jsou uvedeny v Tab. 3.3.

Dalším druhem otvoru je $\varnothing 14,2$ H11. Nejdříve se vytvoří průchozí otvor $\varnothing 11,7$ mm skrz celou délku části ojnice, poté se otvor rozšíří na $\varnothing 12,5$ mm a poslední operací je vrtání $\varnothing 14,2$ H11 do hloubky 10,3 mm. Použité nástroje jsou uvedeny na Obr. 3.15.

Řezné podmínky pro hrubovací operace jsou zobrazeny v Tab. 3.3. Posledním a nejdůležitějším krokem pro zajištění sešroubování obou částí je vytvoření závitu závitníkem M14x1,5-4H v těle ojnice.



Obr. 3.15 Nástroje použité pro vrtání otvorů, a) vrták $\varnothing 11,7$ mm, b) výhrubník $\varnothing 12,5$ mm, c) výhrubník $\varnothing 14,2$ H11, d) vrták $\varnothing 4,7$ mm, e) záhlubník $\varnothing 6,3$ mm.

Tab. 3.3 Tabulka použitých řezných podmínek pro vrtání a vyhrubování.

Nástroj	Průměr [mm]	Posuv na otáčku f [mm]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Otáčky n [min ⁻¹]	Materiál	Označení
Vrták	11,7	0,15	24,5	666	HSS	a)
Výhrubník	12,5	0,16	24,3	619	HSS	b)
Výhrubník	14,2H11	0,34	24,1	540	HSS	c)
Vrták	4,7	0,07	26,2	1774	HSS	d)
Záhlubník	6,4	0,08	21,2	1054	HSS	e)

b) Víko ojnice

Pro víko ojnice je situace o něco málo jednodušší. Pro zajištění sešroubování je nutné vytvořit pouze $\varnothing 14,2$ H11 a $\varnothing 4,7$ mm. Postupuje se stejným způsobem, tedy vrtáním otvoru $\varnothing 4,7$ mm, předvrtáním otvoru $\varnothing 13,5$ mm a následným vyhrubováním $\varnothing 14,2$ H11. Důležitým krokem je zafrézování čela víka pro dosedací hlavu šroubu frézou. Tato operace bude popsána v následující kapitole.

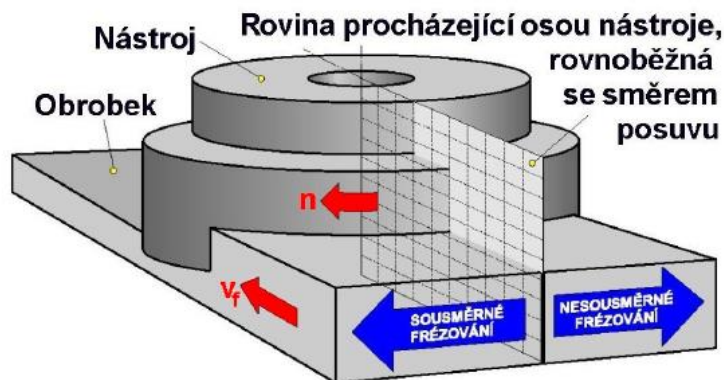
Tab. 3.4 Použité řezné podmínky pro vrták $\varnothing 13,5$ mm.

Nástroj	Průměr [mm]	Posuv na otáčku f [mm]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Otáčky n [min ⁻¹]	Materiál	Označení
Vrták	13,5	0,17	24	550	HSS	

3.3 Frézování

Frézování je metoda, při které se obrábí rovinné, tvarové, vnitřní a vnější plochy vícebřítým nástrojem. Obráběný materiál je odebrán břity rotujícího nástroje. Posuvný pohyb ve většině případů koná obrobek, nejčastěji ve směru kolmém k ose nástroje [8; 12].

V původním postupu firmy je využito čelní frézování.



Obr. 3.16 Čelní frézování [6].

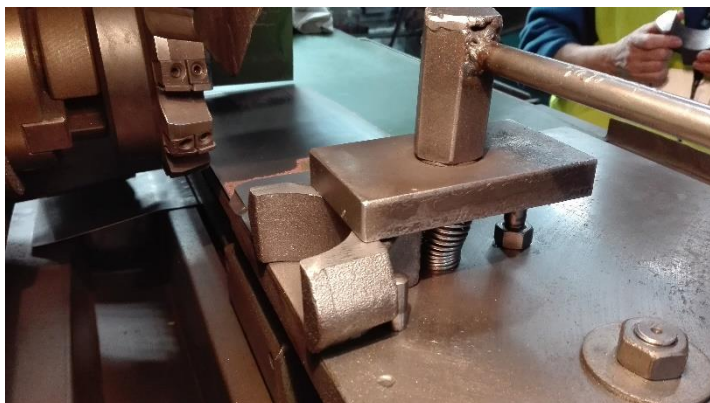
3.3.1 Čelní frézování

Na součástce víka ojnice je použita metoda čelního frézování, které je použito pro frézování přebytečného materiálu do hloubky cca 1-2 mm (Obr. 3.17), a tím ušetření opotřebení protahovacích nástrojů následujících v další operaci (viz Obr. 3.7).

Čelní frézy jsou zpravidla vytvořeny s břity jak na čele, tak na obvodě nástroje. Dle polohy osy frézy vůči frézované ploše se rozlišují dva základní druhy frézování [12]:

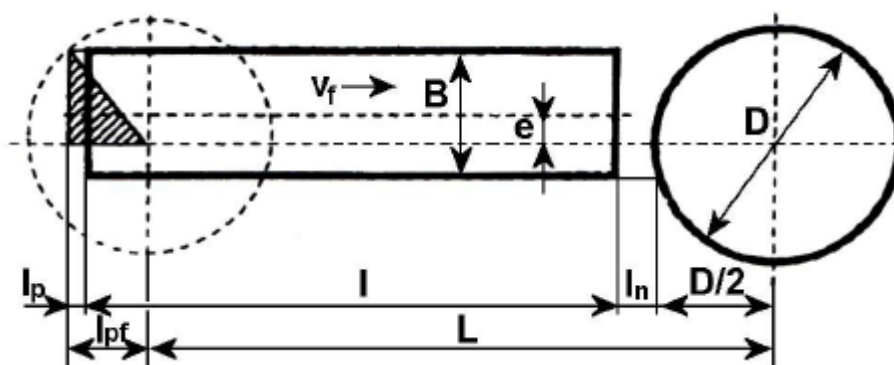
- symetrické (osa nástroje prochází středem frézované plochy),
- nesymetrické frézování (osa nástroje je mimo střed frézované plochy).

Z Obr. 3.17 je zřejmé, že osa nástroje leží mimo střed frézované plochy. V následující podkapitole budou rozebrány základní parametry týkající se hrubování materiálu při čelním nesymetrickém obrábění.



Obr. 3.17 Čelní frézování víka ojnice.

Na Obr. 3.18 jsou znázorněny rozměry, které budou následně použity ve vzorových výpočtech.



Obr. 3.18 Dráha frézy pro čelní frézování [12].

Řezná rychlost je vyjádřena ve vztahu 3.7 [8].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3.7)$$

kde:

v_c	[m.min ⁻¹]	-	řezná rychlost,
D	[mm]	-	průměr nástroje,
n	[min ⁻¹]	-	otáčky nástroje.

Další důležitou jednotkou je jednotka posuvu na zub f_z [mm], která udává délku posuvu obrobku za dobu, kdy je zub v záběru. Velmi podobná a také využívaná jednotka je posuv na otáčku f_n [mm]. Tato jednotka udává délku dráhy obrobku za jednu otáčku nástroje [13].

$$f_n = f_z \cdot z \quad (3.8)$$

kde:

f_n	[mm]	-	posuv na otáčku,
f_z	[mm]	-	posuv na zub,
z	[-]	-	počet zubů (břitů) nástroje.

Další následuje vzorec pro výpočet posuvové rychlosti [13].

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \quad (3.9)$$

kde:

v_f	[mm.min ⁻¹]	-	posuvová rychlost,
f_n	[mm]	-	posuv na otáčku,
f_z	[mm]	-	posuv na zub,
z	[-]	-	počet zubů (břitů) nástroje,
n	[min ⁻¹]	-	otáčky nástroje.

Hodnotu dráhy nástroje pro válcové frézování (viz Obr. 3.18) určíme dle vztahu (3.10) [12].

$$L = l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - l_{pf} \quad (3.10)$$

kde:

- | | | |
|----------|------|---|
| L | [mm] | - dráha nástroje ve směru posuvového pohybu, |
| l | [mm] | - délka obrobku, |
| l_n | [mm] | - délka nájezdu nástroje, |
| l_p | [mm] | - délka přejezdu nástroje, |
| D | [mm] | - průměr broušícího kotouče, |
| l_{pf} | [mm] | - vzdálenost středu nástroje od konce obrábění. |

Výpočet hodnoty vzdálenosti středu nástroje od náběhu obrábění získáme ze vztahu (3.11) viz Obr. 3.18 [12]:

$$l_{pf} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2} \quad (3.11)$$

kde:

- | | | |
|----------|------|---|
| l_{pf} | [mm] | - vzdálenost středu nástroje od konce obrábění, |
| B | [mm] | - šířka obráběného materiálu, |
| D | [mm] | - průměr nástroje, |
| e | [mm] | - vzdálenost osy nástroje od osy obrobku. |

Výpočet jednotkového strojního času je tedy [12]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \quad (3.12)$$

kde:

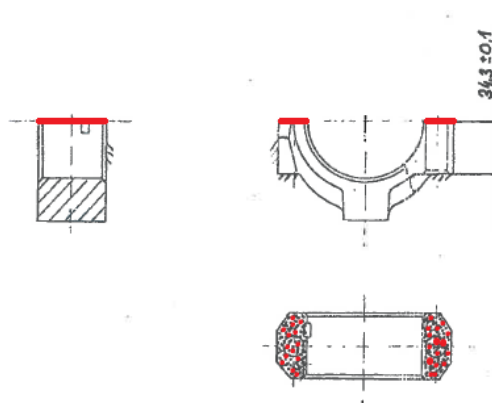
- t_{AS} [min] - jednotkový strojní čas,
 L [mm] - dráha nástroje ve směru posuvového pohybu,
 v_f [mm.min⁻¹] - posuvová rychlost.

3.3.2 Použité stroje

Metoda frézování je použita hned ve třech operacích. Poprvé je využita pro odfrézování přebytku materiálu na víku ojnice (viz Obr. 3.17 a Obr. 3.20). Frézování je realizováno na frézce FGU 32 (viz Obr. 3.19).



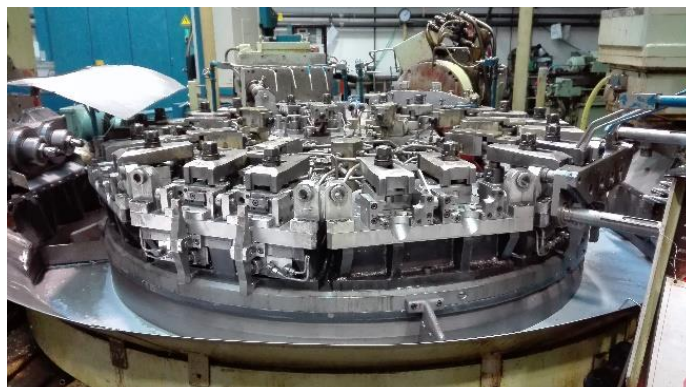
Obr. 3.19 Frézka FGU 32.



Obr. 3.20 Víko ojnice [11].

Podruhé, kdy je použita metoda frézování je výroba drážek 5 D11 pro uchycení vložky hřídelové části ojnice. Zmíněná drážka je využita jak na části těla ojnice, tak i na víku ojnice. Frézování je realizováno na již zmíněných jednoúčelových strojích JUS AIZ 539 a 540 (viz Obr. 3.21).

Naposledy je metoda použita na frézování dosedací plochy šroubu spojovacího obě části ojnice. Frézování je prováděno rovněž na JUS AIZ 540.



Obr. 3.21 JUS AIZ 540.

3.3.3 Použité nástroje

Pro odfrézování přebytečného materiálu z čela víka ojnice je použita kotoučová fréza $\varnothing 160$ s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu, dále jen SK od firmy Pramet. Řezné podmínky jsou zobrazeny v Tab. 3.5.

Tab. 3.5 Kotoučová fréza $\varnothing 160$.

Fréza kotoučová $\varnothing 160$ mm		Držák: 160C10R-W75SP12D	
		VBD: SPKN 1504EDSR	
	značka	hodnota	jednotka
Posuv na zub	f_z	0,11	[mm]
Řezná rychlost	v_c	80	[m.min ⁻¹]
Otáčky	n	159	[min ⁻¹]

Frézování drážky pro aretaci pouzdra ojnice je využita monolitní kotoučová fréza (viz Obr. 3.22) o šířce 5 D11 mm. Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 3.6 Řezné podmínky pro kotoučovou frézu 5 D11 (viz Obr. 3.22).

Fréza kotoučová 5 D11 mm		HSS	
	značka	hodnota	jednotka
Posuv na zub	f_z	0,03	[mm]
Řezná rychlost	v_c	15	[m.min ⁻¹]
Otáčky	n	149	[min ⁻¹]

Další obráběnou plochou na víku ojnice je dosedací plocha hlavy šroubu sloužícího k sešroubování obou částí ojnice. Tato plocha je obráběna monolitní frézou (viz Obr. 3.23). Používané řezné podmínky jsou k nalezení v Tab. 3.7.

Tab. 3.7 Řezné podmínky pro válcovou čelní frézu $\varnothing 32$ mm (viz Obr. 3.23).

Fréza válcová čelní $\varnothing 32$ mm		HSS	
	značka	hodnota	jednotka
Posuv na zub	f_z	0,05	[mm]
Řezná rychlost	v_c	15	[m.min ⁻¹]
Otáčky	n	149	[min ⁻¹]



Obr. 3.22 Kotoučová fréza 5 D11.



Obr. 3.23 Fréza válcová čelní $\varnothing 32$.

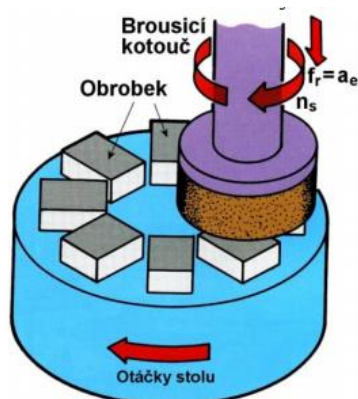
3.4 Broušení

Broušení lze charakterizovat jako obrábění mnohobřitým nástrojem, který je vytvořen ze zrn brusiva a pojiva. Metoda broušení patří historicky k nejstarším metodám obrábění. U brousicích nástrojů nemají zrna definovaný geometrický tvar a v důsledku tohoto faktu dokážou přenášet malé řezné síly. Zrna jsou v nástroji uspořádána náhodně a jsou navzájem spojena pojivem v celek [8; 14].

Pro výrobu těla ojnice a víka ojnice je zvolen druh rovinného čelního broušení s otáčivým pohybem obrobku (viz Obr. 3.24). Zmíněná metoda je hojně využívána k broušení širších ploch. Jedná se o méně přesnou metodu v porovnání s obvodovým broušením, je ovšem mnohem výkonnější [15].

Průměr brousicího kotouče mívá obvykle větší průměr, než je šířka obrobku. Pro vysoce výkonné čelní broušení se používají speciální brusky se dvěma protilehlými brousicími kotouči [15].

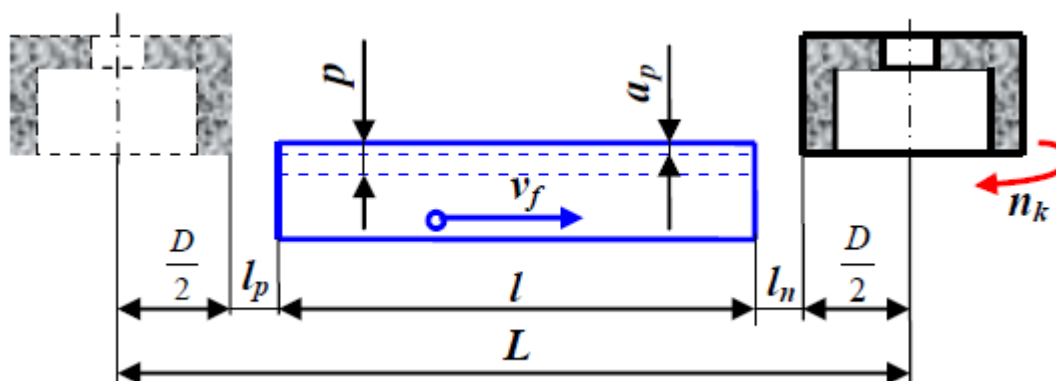
Právě tento způsob je použit u stávající výroby a finálně se zde brousí plochy o předepsané drsnosti povrchu $Ra 1,6 \mu m$.



Obr. 3.24 Čelní broušení s otáčivým pohybem obrobku [14].

- **Výpočet strojního času**

Strojní čas lze vypočítat z empirických vztahů uvedených v další části této podkapitoly. Všechny jednotlivé rozměry jsou naznačeny na Obr. 3.25.



Obr. 3.25 Strojní čas při rovinném broušení čelem kotouče [16].

Jednotkový strojní čas pro rovinné obvodové broušení lze získat ze vztahu (3.13) [16].

$$t_{AS} = \frac{2 \cdot L}{v_f} \cdot i \quad (3.13)$$

kde:

- | | | |
|----------|------------------------|---------------------------------|
| t_{AS} | [min] | - jednotkový strojní čas, |
| L | [mm] | - dráha pohybu stolu brusky, |
| v_f | [m.min ⁻¹] | - rychlost posuvu stolu brusky, |
| i | [mm] | - počet záběrů. |

Potřebnou dráhu pohybu stolu brusky lze získat ze vztahu (3.14) [16].

$$L = l_n + l + l_p \quad (3.14)$$

kde:

- | | | |
|-------|------|--------------------------|
| L | [mm] | - dráha pohybu stolu, |
| l_n | [mm] | - délka náběhu, |
| l | [mm] | - délka obráběné plochy, |
| l_p | [mm] | - délka přeběhu. |

Dráha pohybu stolu brusky v axiálním směru (viz Obr. 3.25) určíme ze vztahu (3.15) [16]:

$$i = \frac{p}{a_p} \quad (3.15)$$

kde:

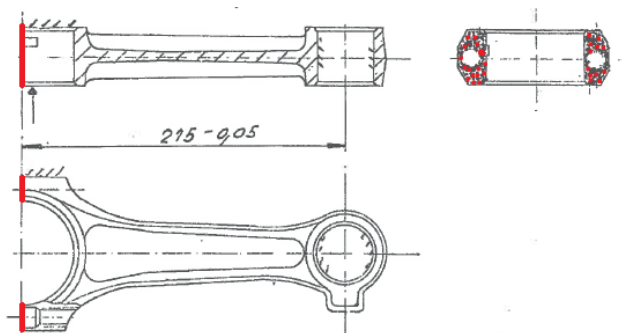
- | | | |
|-------|------|--------------------------|
| i | [-] | - počet záběrů, |
| p | [-] | - výška broušené plochy, |
| a_p | [mm] | - šířka záběru ostří. |

3.4.1 Použité stroje

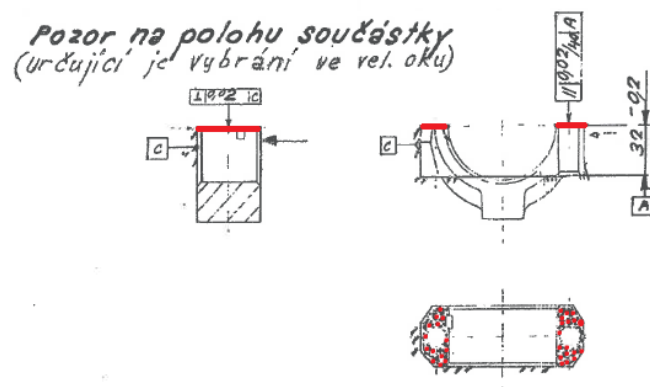
Stroj, který je použitý pro broušení dosedacích ploch je bruska RFA 2 REFORM (viz Obr. 3.26). Jedná se o brusku, která je sestavena pro účel čelního broušení s otočným pohybem obrobku (viz kapitola 3.4). Bruska disponuje dvěma brousícími hlavami s vyměnitelnými brousícími segmenty. Jedna slouží pro hrubé a druhá pro jemné broušení. Každá z brusných hlav obsahuje 8 brusných kamenů. Na zmíněné brusce dochází k broušení čelní plochy, jak na těle ojnice (viz Obr. 3.27), tak na víku ojnice (viz Obr. 3.28).



Obr. 3.26 Bruska RFA 2 REFORM.



Obr. 3.27 Broušená dosedací plocha na těle ojnice [11].



Obr. 3.28 Broušená dosedací plocha na víku ojnice [11].

3.4.2 Použité nástroje

Nástroji pro broušení jsou brousící kameny na bázi umělého korundu Al_2O_3 bílé barvy. Tyto kameny jsou uvedeny na Obr. 3.29. Každá hlava, jak bylo zmíněno v kapitole 3.4.1, obsahuje 8 brousících segmentů. V hlavě č. 1 jsou kameny s hrubším zrnem (viz Tab. 3.8). Hlava č. 2 obsahuje jemnozrnější brousící segmenty (viz Tab. 3.9). Tyto brousící segmenty mají za úkol brousit povrch na hodnotu $R_a 1,6 \mu\text{m}$.



Obr. 3.29 Brousící hlavy s brousícími kameny.

Tab. 3.8 Brousící segment pro hrubé broušení [17].

Druh brusiva	Zrnitost	Tvrdost	Struktura	Pojivo
99BA	24	K	10	V
Umělý korund-bílý	Hrubá	Měkké	Velmi pórovitá	Keramické

Tab. 3.9 Brousicí segment pro jemné broušení [17].

<i>Druh brusiva</i>	<i>Zrnitost</i>	<i>Tvrdost</i>	<i>Struktura</i>	<i>Pojivo</i>
A99B	40	J	8	V
Umělý korund-bílý	Střední	Měkké	Pórovitý	Keramické

Tab. 3.10 Brousicí segment pro hrubé broušení.

99BA 24K 10V		Al ₂ O ₃	
	značka	hodnota	jednotka
Radiální posuv	f _r	0,025	[mm]
Tangenciální rychlost posuvu	v _{ft}	30	[m.min ⁻¹]

Tab. 3.11 Brousicí segment pro jemné broušení.

A99B 40J 8V		Al ₂ O ₃	
	značka	hodnota	jednotka
Radiální posuv	f _r	0,005	[mm]
Tangenciální rychlost posuvu	v _{ft}	30	[m.min ⁻¹]

4 NÁVRH NOVÉHO ZPŮSOBU OBRÁBĚNÍ

Nový návrh způsobu obrábění má primárně za cíl snížit počet strojů pro výrobu, a tím i související výrobní prostory. S tímto snížením koresponduje také zredukování obsluhy jednotlivých strojů.

Jak bylo výše zmíněno, tak původní linka dosahuje produkce 40 000 kusů ojníc ročně, což je při dosavadní výrobě předimenzované pracoviště. Nová technologie má za úkol obrábět ojnice v požadované přesnosti a v požadovaném množství 14 000–16 000 kusů, tak aby byla splněna kontinuita výroby.

Dosavadní výroba je poměrně časově i finančně náročná, co se týká údržby nástrojového vybavení, zejména protahovacích segmentů.

4.1 Technologický postup

V této kapitole je uveden nově navržený technologický postup výroby těla ojnice i víka ojnice společně se zkratkami nástrojů. Tento seznam nástrojů je uveden v Tab. 4.3.

4.1.1 Tělo ojnice

V Tab. 4.1 je uveden nově navržený technologický postup pro tělo ojnice s nástroji uvedenými v Tab. 4.3.

Tab. 4.1 Výrobní postup těla ojnice.

VÝROBNÍ POSTUP					Název celku:	Tělo ojnice
Dne:		Vyhotovil:	Tenora	Materiál: 14 240.3	Polotovár:	Výkovek
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Počet:	Popis práce v operaci:		Nástroj:	
10	MCV 1210	2x	Frézovat výšku ojnice na 42,4 mm		T1	
		2x	Frézovat šířku ojnice na 104 ^{-0,1} mm		T2	
		1x	Vrtat ϕ 27		T5	
		1x	Kruhovou interpolací obrobit ϕ 43,2 H8		T2	
20	MCV 1210	2x	Frézovat výšku ojnice na 40,2 _{-0,05} mm		T1	
		1x	Frézovat čelo		T2	
		1x	Frézovat ϕ 68,3 ^{+0,1} mm		T2	
		1x	Frézovat drážku 5 D11		T8	
			Otočit stůl o 90°			
		2x	Vrtat ϕ 12,5 mm		T6	
		2x	Kruhovou interpolací obrobit ϕ 14,2 H11		T2	
		2x	Závitovat M14 x 1,5		T11	
		2x	Vrtat ϕ 4,7 mm		T7	
		2x	Zahloubit 30° u ϕ 4,7 mm		T10	

4.1.2 Víko ojnice

Pro víko ojnice je uveden v Tab. 4.2 nově navržený technologický postup. Stejně jako u těla ojnice jsou použity nástroje z Tab. 4.3.

Tab. 4.2 Výrobní postup víka ojnice.

VÝROBNÍ POSTUP					Název celku: Víko ojnice
Dne:		Vyhotovil: Tenora	Materiál: 14 240.3	Polotovár: Výkovek	
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Počet:	Popis práce v operaci:		Nástroj:
10	MCV 1210	1x	Frézovat čelo na 34,3 ±0,1 mm		T1
		2x	Frézovat šířku víka na 104 ^{-0,1} mm		T2
		2x	Vrtat ϕ 12,5 mm		T6
			Kruhovou interpolací obrobit ϕ 14,2 H11		T2
		2x	Vrtat ϕ 4,7 mm		T7
		2x	Sražení 30° u ϕ 4,7 mm		T10
20	MCV 1210	2x	Frézovat ϕ 32 na výšku 33,8 ^{-0,1} mm		T4
		2x	Zahloubit 0,4x45°		T9
		2x	Frézovat šířku ojnice 40,2 ^{-0,05} mm		T3
			Otočit stůl o 90°		
		1x	Frézovat ϕ 68,3 ^{+0,1} mm		T2
		1x	Frézovat drážku 5 D11		T8

4.2 Volba obráběcího stroje

Pro první navrženou technologii obrábění byl zvolen stroj Tajmac-ZPS MCV 1210. Stroj je zvolen z důvodu možnosti využití sklopného otočného stolu, což je výhodné hned z několika důvodů. Prvním důvodem je možnost vertikálního vrtání otvorů. Druhý důvod je možnost využití otočného stolu. Při využití nastíněných přípravků uvedených v kapitole 4.5 je možné umístit na pracovní plochu několik přípravků, a tím možnost obrábět více kusů na jedno spuštění obráběcího programu. Stroj byl zvolen i z důvodu možnosti testování obrábění na půdě ÚST VUT v Brně.

4.3 Seznam použitých nástrojů

V této kapitole je uveden seznam navržených nástrojů, se kterými probíhalo testování obrábění dle navrženého TP blíže popsaného v kapitole 5.

Tab. 4.3 Seznam použitých nástrojů při testování obrábění.

VUT Brno		NÁSTROJOVÝ LIST		DATUM VYDÁNÍ: 17.5.2017	
Obrázek nástroje:	Ozn.:	Název nástroje:	Výrobce	Označení držáku, označení VBD	Materiál
	T1	ČELNÍ FRÉZA ϕ 100 mm	PRAMET	100B10R-S45SE09	
				SEMT 09T3 AFSN	5026
	T2	MONOLITNÍ STOPKOVÁ FRÉZA ϕ 12 mm	PRAMET	12E3S100-50A12 SUMA	SK + AlCrN
	T3	MONOLITNÍ STOPKOVÁ FRÉZA ϕ 20 mm			HSS
	T4	ČELNÍ VÁLCOVÁ FRÉZA ϕ 32 mm	STIMZET		HSS
	T5	ŠROUBOVITÝ VRTÁK ϕ 27 mm	STIMZET		HSS
	T6	ŠROUBOVITÝ VRTÁK ϕ 12,5 mm	STIMZET		HSS
	T7	ŠROUBOVITÝ VRTÁK ϕ 4,7 mm	STIMZET		HSS
	T8	KOTOUČOVÁ FRÉZA š=5 mm ϕ 50 mm	PRAMET		HSS
	T9	ZÁHLUBNÍK 90°	NAREX		HSS
	T10	ZÁHLUBNÍK 60°	NAREX		HSS
	T11	ZÁVITNÍK M14x1,5	FETTE		HSS +TiCN

Tab. 4.4 Použité řezné podmínky pro nástroje uvedené v Tab. 4.3.

Nástroj	Průměr [mm]	Posuv na otáčku f [mm]	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Otáčky n [min ⁻¹]
T1	100	3,9	289	920
T2	12	0,18	80	2122
T3	20	0,08	20	318
T4	32	0,2	20	198
T5	27	0,15	20	236
T6	12,5	0,15	20	509
T7	4,7	0,1	30	2032
T8	40	0,48	19	151
T9	25 x 90°	0,05	15	265
T10	60°	0,05	15	796
T11	M14x1,5	1,5	15	341

4.4 Návrh výkonných nástrojů pro produktivní obrábění

Návrh výkonných nástrojů bude aplikován na navržený technologický postup. Tento technologický postup se bude mírně lišit od nově navrženého postupu s nástroji uvedenými v Tab. 4.3. Zmíněné TP jsou uvedeny i s výpočty normy na kus v kapitole 6.1.3. Volba výkonných nástrojů nevychází z původních zásob firmy Zetor, ale jedná se o nástroje navržené pomocí katalogů různých výrobců pro následné zoptimalizování hromadné výroby.


4.4.1 Nástroje pro frézování

- **Sandvik Coromant CoroMill 245**

Použité VBD disponují technologií Wiper, která má za cíl tvorbu velmi hladkých ploch. Na každou destičku spadá tedy čtyři řezné hrany. Fréza je určena pro úběr materiálu s vysokým posuvem.

Úhel nastavení hlavního ostří, tedy $\kappa_r = 45^\circ$, což je vhodné pro hrubovací operace. Hlavní výhodou tohoto nastavení je plynulé zahájení řezu. Další nespornou výhodou je vyváženost radiálních i axiálních řezných sil.

Tab. 4.5 Kotoučová fréza Sandvik Coromant CoroMill 245 [18].

Označení nástroje pro TP			
S1	Obr. 4.1 Kotoučová fréza CoroMill 245 [18].		
- Průměr	[mm]	80	
- Počet břitů	[-]	6	
- Řezná rychlost	[m.min ⁻¹]	289	
- Posuv na zub	[mm]	0,39	
- Typ VBD/Povlak		R245-12 T3 M-KH 3040 / TiN+Al ₂ O ₃	

- **Sandvik Coromant CoroMill Plura**

Frézy určené pro frézování hran a obrysů. Vyznačují se vysokou produktivitou a zároveň životností. Z našeho pohledu bude vhodný pro obrábění tvaru ojnice, dále pak šířky a tvaru víka ojnice.

Tab. 4.6 Monolitní karbidová stopková fréza CoroMill Plura [19].

Označení nástroje pro TP			
S2	Obr. 4.2 Monolitní karbidová stopková fréza ϕ 20 [19].		
- Průměr	[mm]	20	
- Počet břitů	[-]	4	
- Řezná rychlost	[m.min ⁻¹]	292	
- Posuv na zub	[mm]	0,29	
- Typ VBD/Povlak		TiAlN	

4.4.2 Nástroje pro vrtání

- **Sandvik Coromant CoroDrill 880**

CoroDrill 880 je vrták s VBD, který je díky své geometrii dispouje nízkými řeznými silami oproti běžným vrtákům s VBD. Vrták je vybaven destičkami s geometrií Wiper vhodnou pro lesklou tvorbu obráběné plochy. Vrták je schopen vyrobit otvor v toleranci H15, což pro $\varnothing 43$ mm je $\varnothing 43_0^{+1,6}$ mm.

Tab. 4.7 Vrták CoroDrill 880 [20].

Označení nástroje pro TP			
S4	Obr. 4.3 Vrták Sandvik Coromant CoroDrill 880 [20].		
- Průměr	[mm]	42	
- Počet břitů	[-]	2	
- Řezná rychlost	[m.min ⁻¹]	201	
- Posuv na otáčku	[mm]	0,24	
- VBD/Povlak		880-07 04 W12H-P-GR / 4334 880-07 04 06HC-GR / 1044	


- **Sandvik Coromant CoroDrill 860**

Jedná se o nástroj určený pro velmi produktivní vrtání. Vrták je vybaven vnitřním přívodem procesní kapaliny pro efektivní odvod třísky z místa řezu. Je možné využití velkých posuvů, pro které má nástroj předpoklady [21].

Tab. 4.8 Vrták Sandvik Coromant CoroDrill 860 $\varnothing 12,5$ mm [21].

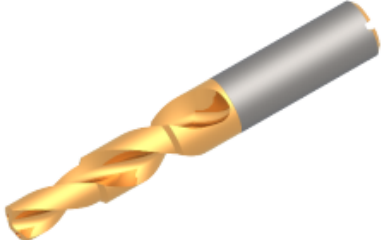
Označení nástroje pro TP			
S5	Obr. 4.4 Vrták Sandvik Coromant CoroDrill 860 [21].		
- Průměr	[mm]	12,5	
- Počet břitů	[-]	2	
- Řezná rychlost	[m.min ⁻¹]	180	
- Posuv na otáčku	[mm]	0,27	
- VBD/Povlak		TiAlN	


Tab. 4.9 Vrták Sandvik Coromant CoroDrill 860 Ø14,2 mm [21].

Označení nástroje pro TP			
S6	Obr. 4.5 Vrták Sandvik Coromant CoroDrill 860 [21].		
- Průměr	[mm]	14,2	
- Počet břitů	[-]	2	
- Řezná rychlost	[m.min ⁻¹]	180	
- Posuv na otáčku	[mm]	0,3	
- VBD/Povlak		TiAlN	

Z důvodu zvýšení produktivity byly poptány tvarové vrtáky (viz Obr. 4.6 a Obr. 4.7) vhodné pro vrtání otvoru na těle ojnice, popřípadě víka ojnice. Nebude tedy nutné jako v původním TP použít dva, respektive čtyři samostatné nástroje.

Tab. 4.10 Tvarový vrták K-Tools.

Označení nástroje pro TP			
S7	Obr. 4.6 Tvarový vrták Ø 12,5/14,2H11 k-tools.		
- Průměr	[mm]	12,5/14,2H11/16	
- Počet břitů	[-]	2	
- Řezná rychlost	[m.min ⁻¹]	110	
- Posuv na otáčku	[mm]	0,3	
- VBD/Povlak		R+TripleSI+P	

<p>Označení nástroje pro TP</p>			
<p>S8</p>	<p>Obr. 4.7 Tvarový vrták Ø 4,7 k-tools.</p>		
<p>- Průměr</p>	<p>[mm]</p>	<p>4,7 + sražení 30°</p>	
<p>- Počet břitů</p>	<p>[-]</p>	<p>2</p>	
<p>- Řezná rychlost</p>	<p>[m.min⁻¹]</p>	<p>110</p>	
<p>- Posuv na otáčku</p>	<p>[mm]</p>	<p>0,14</p>	
<p>- VBD/Povlak</p>		<p>R+TripleSI+P</p>	

Pro nástroje Sandvik Coromant s označením Coro jsou ceny uvedeny dle platného katalogu. Tvarové vrtáky, jež jsou poptány na zakázku u firmy K-Tools, ceny jsou uvedeny včetně DPH a podrobná nabídka tvarových vrtáků je uvedena v Příloze 4.

Název:	Průměr:	Počet nástrojů:	Cena:	Cena/kus:	Počet VBD:	Cena VBD:
CoroMill Plura	20	1		14 305 Kč		
CoroMill 240	80	1		14 725 Kč	6	1 968 Kč
CoroDrill 880	42	1		14 295 Kč	2	932 Kč
CoroDrill 860	12,5	1		12 450 Kč		
CoroDrill 860	14,2 H11	1		15 240 Kč		
Tvarový vrták K-tools	12,5/14,2/16	4	21 707 Kč	5 427 Kč		
Tvarový vrták K-tools	4,7/8	4	9 525 Kč	2 381 Kč		
					Celkem:	81 723 Kč

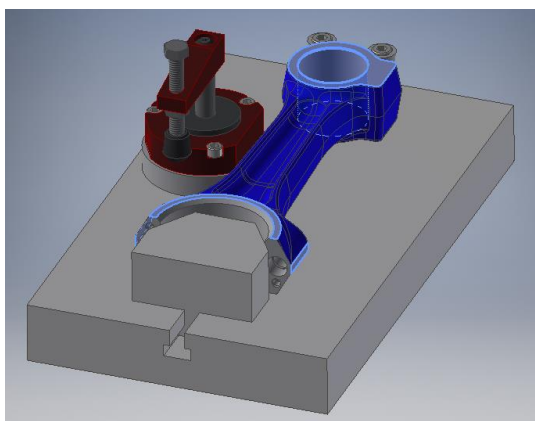
4.5 Přípravky

Navržené přípravky jsou modelovány v 3D modeláři Autodesk Inventor 2016.

- **Tělo ojnice**

Operace 10

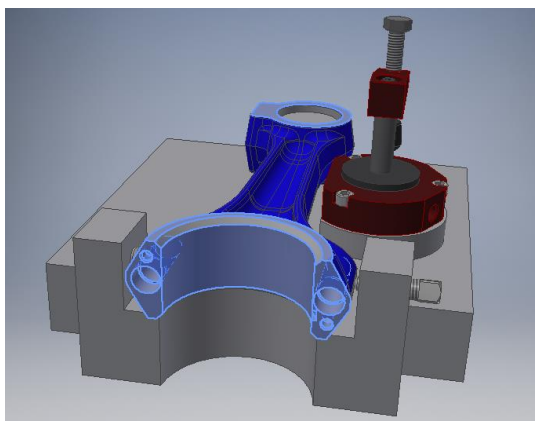
V operaci č. 10 pro tělo ojnice jsou frézovány vrchní plochy čelní frézou $\varnothing 100$ mm. Čelní válcovou frézou je dále frézována šířka ojnice na rozměr $104_{-0,1}$ mm. Poslední operací je předvrtání otvoru $\varnothing 27$ mm a následné frézování otvoru $\varnothing 43,2$ H8. Technologický postup je uveden v Tab. 4.1.



Obr. 4.8 Přípravek pro operaci č. 10.

Operace 20

V operaci číslo 20 je obrobek ustaven do přípravku za otvor $\varnothing 43,2$ H8, vystředěn za již obrobenou šířku těla ojnice. Následně je provedeno jako v předchozí operaci frézování vrchní plochy čelní frézou. Dále jsou frézovány čela a vybrání o $\varnothing 68,3$ mm válcovou čelní frézou $\varnothing 12$ mm. Navazující operací je frézování drážky 5 D11 a v poslední fázi vrtání otvorů $\varnothing 12,5$ mm, vyfrézování $\varnothing 14,2$ H11 a vrtání $\varnothing 4,7$ mm společně se zahloubením. Podrobný technologický postup je uveden v Tab. 4.1.

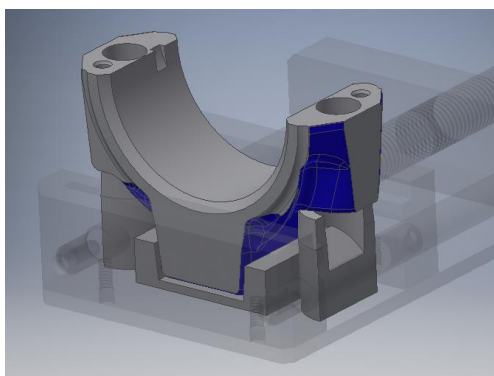


Obr. 4.9 Přípravek pro operaci č. 20.

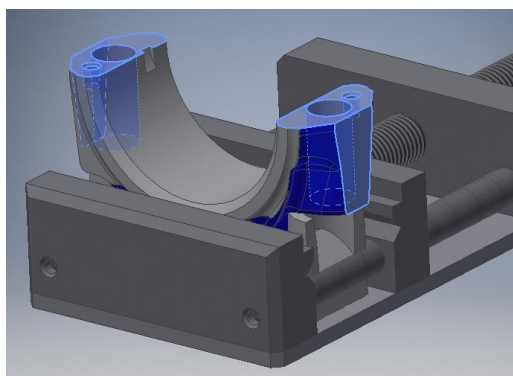
- **Víko ojnice**

Operace 10

Na Obr. 4.11 jsou naznačeny obráběné plochy. Nástroj použitý pro obrábění vrchní plochy je čelní fréza. Pomocí čelní válcové frézy je realizováno obrábění šířky víka ojnice. Následující úkon vrtání $\varnothing 12,5$ mm je realizováno HSS vrtákem a pomocí čelní válcové frézy $\varnothing 12$ mm je kruhovou interpolací obroben otvor $\varnothing 14,2$ H11. Poslední operací je vyvrtán otvor $\varnothing 4,7$ mm společně se zahloubením. Podrobný TP je uveden v Tab. 4.2 a seznam použitých nástrojů se nachází v Tab. 4.3.



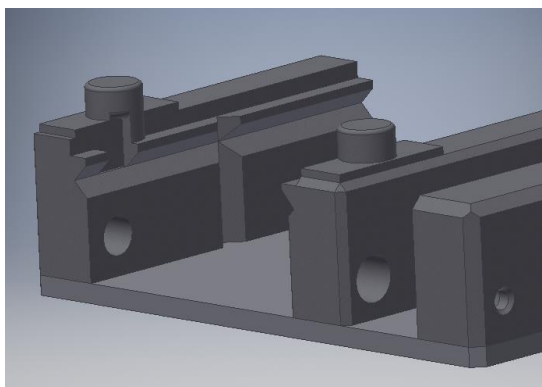
Obr. 4.10 Upnutí pro op. 10 víka ojnice.



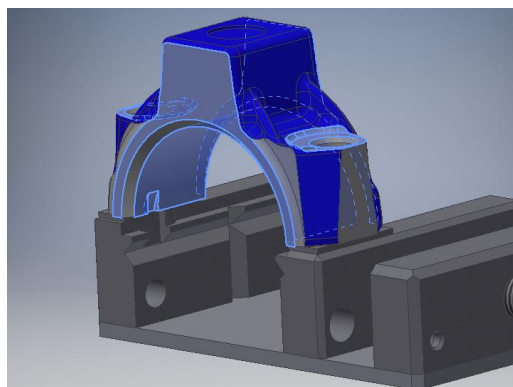
Obr. 4.11 Obráběné plochy pro op. 10 víka ojnice.

Operace 20

V operaci číslo 20 víka ojnice se nachází frézování modře označených ploch viditelných na Obr. 4.13. Pro obrábění je využita monolitní stopková fréza $\varnothing 12$ mm ze slinutého karbidu s povlakem. Dále je pak použita kotoučová fréza $\varnothing 40$ mm s šířkou 5 D11. Seznam operací pro druhé upnutí víka ojnice je uvedeno v Tab. 4.2.



Obr. 4.12 Přípravek pro op. 20 víka ojnice.



Obr. 4.13 Obráběné plochy pro op. 20 víka ojnice.

5 TESTOVÁNÍ NOVÉHO NÁVRHU OBRÁBĚNÍ

Testování nově navrženého technologického postupu a přípravků pro obrábění má za cíl zjistit, zdali jsou obráběné plochy vyráběny v požadovaných parametrech dle firemní dokumentace. Testování obrábění je také použitelné pro určení stability upnutí pro jednotlivé operace.

5.1 Stroj použitý pro testování

Jak bylo zmíněno v kapitole 4.2, tak pro testování bude použit stroj Tajmac-ZPS MCV 1210 (viz Obr. 5.1), který je ve vlastnictví VUT Brno a byl propůjčen pro tyto účely testování. Jedná se o portálové obráběcí centrum schopné obrábět ve 3-5 osách. Disponuje vysokou tuhostí a tlumícími vlastnostmi, tím pádem je možné využít HSC technologie. Parametry portálového obráběcího centra jsou uvedeny v Příloze 3.



Obr. 5.1 Tajmac-ZPS MCV 1210 [22].

5.2 Rozbor technologického postupu

Tělo ojnice

Pro tělo ojnice je využito upnutí pomocí testovacího přípravku (viz Obr. 5.2). Přípravek je uchycen na plochu otočného stolu pomocí sady upínek a vystředěn do osy pracovního stolu. Obrobek v našem případě tělo ojnice bude pro celkové obrobení upnuto do dvou přípravků navržených a popsanych v kapitole 4.5.

Tato varianta je využita pro testování obrábění, zdali je obráběcí centrum schopné obrobít zadané plochy v požadovaných přesnostech právě s navrženými přípravky, nástroji a druhem upínání. Obrábění probíhá dle navrženého technologického postupu uvedeného v Tab. 4.1. Nejdříve dojde k frézování výšky ojnice čelní frézou $\varnothing 100$ mm s deseti VBD na hodnotu 42,4 mm. Následující operací je frézování šířky ojnice na hodnotu 104-0,1 mm válcovou čelní frézou $\varnothing 12$ mm ze slinutého karbidu s třemi břity.

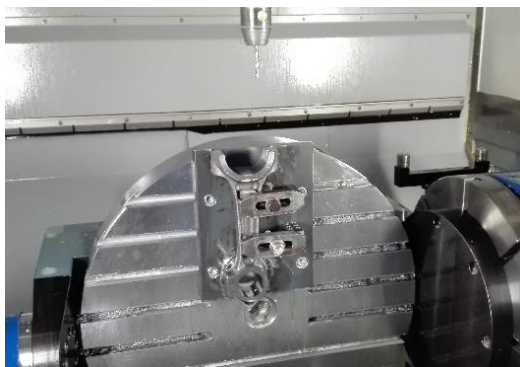
Poslední operací pro první upnutí je obrábění otvoru $\varnothing 43,2 H8$. Obrábění zmíněného otvoru je zrealizováno HSS vrtákem $\varnothing 27$ mm použitého pro vrtání průchozího otvoru pro monolitní válcovou frézu z SK, která pomocí kruhové interpolace obrobí požadovaný otvor. Čelní válcová fréza disponující technologií postupného vnořování do materiálu by byla schopna otvor obrobit i bez předvrtání, ovšem problém by nastal v momentě, kdy by bylo obtížné odvádět třísku z místa řezu. Pro eliminování zmíněného problému byla zařazena technologie vrtání právě z důvodu dobrého odvodu třísky z místa řezu.

V přípravku číslo 2 je obrobek upnut za vyrobený otvor $\varnothing 43,2 H8$ a vymezen za šířku těla ojnice (viz Obr. 4.9). Následně je pomocí čelní válcové frézy $\varnothing 12$ mm frézováno čelo ojnice, které je od středu otvoru $\varnothing 43,2 H8$ ve vzdálenosti $215,3_{-0,1}^{+0,1}$ mm. S obráběním čela je i spojené obrábění otvoru $\varnothing 68,3$ mm. Poslední operací při této poloze otočného stolu je frézování drážky 5 D11 kotoučovou frézou z HSS.

Po výše zmíněném obrábění přichází na řadu otočení pracovního stolu o 90° (viz Obr. 5.3), aby byl obrobek upnut svisle a mohlo být realizována technologie vrtání. Nejdříve se jedná o vrtání průchozího otvoru HSS šroubovitým vrtákem $\varnothing 12,5$ mm (viz Obr. 5.4). Následně pomocí kruhové interpolace je obroben otvor $\varnothing 14,2 H11$ do hloubky $10,3_{+0,3}^{+0,3}$ mm. V předvrtaném otvoru $\varnothing 12,5$ mm je následně řezán závit M14x1,5. Poslední operací pro toto upnutí je vrtání $\varnothing 4,7$ mm společně se sražením hrany pod úhlem 30° .



Obr. 5.2 Přípravek pro ustavení těla ojnice i s ofrézovanými plochami.



Obr. 5.3 Svislé postavení pracovního stolu s přípravkem.



Obr. 5.4 Detail vrtání $\varnothing 12,5$ mm.

Na Obr. 5.5 je zobrazeno porovnání obrobených výkovků dvěma technologickými postupy. Obrobek v levé části obrázku je obráběn původní technologií popsanou v kapitole 3. V pravé části obrázku je obrobené tělo ojnice navrženou technologií uvedenou v kapitole 4.



Obr. 5.5 Porovnání původně obráběné ojnice s nově navrženou technologií.



Obr. 5.6 Surový výkovek.



Obr. 5.7 Tělo ojnice obrobené navrženou technologií.

Víko ojnice

Pro součástku víka ojnice byly zkonstruovány dva přípravky (viz Obr. 5.8 a Obr. 5.9) z důvodu dvojího upnutí pro celkové obrobení.

V první operaci je obrobek upnut mezi čelisti přípravku vystředěn a vypodložen (viz Obr. 5.8). Čelní frézou $\varnothing 100$ mm je frézováno čelo víka na výšku $34,3 \pm 0,1$ mm. Z důvodu, že se jedná o frézu s VBD disponující hladící plochou vytvářející velmi kvalitní povrch, tak nebude nutné využívat technologii broušení používanou v původním TP. Následující operací je frézování boku víka ojnice čelní válcovou frézou $\varnothing 12$ mm z SK s povlakem AlCrN. V pořadí následující operací je vrtání otvoru $\varnothing 12,5$ mm a $\varnothing 4,7$ mm. Následně otvor $\varnothing 12,5$ mm je stejně jako u těla ojnice frézován na $\varnothing 14,2$ H11 a pro $\varnothing 4,7$ mm platí rovněž výroba zahloubení 30° .

Po dokončení obrábění v prvním přípravku je obrobek přepnut do druhého přípravku (viz Obr. 5.9) a uchycen za již obrobené otvory. Válcovou čelní frézou z HSS $\varnothing 20$ mm je frézována šířka ojnice na rozměr $40,2_{-0,05}$ mm a následně stejným nástrojem je frézován rozměr $104_{-0,1}$ mm. V pořadí další operací je zahloubení ploch pro hlavy šroubů na rozměr $33,8_{-0,1}$ mm za využití čelní válcové frézy z HSS $\varnothing 32$ mm s následné sražení hrany $0,4 \times 45^\circ$.

V této chvíli přichází na řadu otočení pracovního stolu o 90° pro svislé ustavení obrobku a následné frézování, nejdříve válcovou čelní frézou $\varnothing 68,3$ a posléze frézování drážky 5 D11 kotoučovou frézou z HSS o $\varnothing 50$ mm. Technologický postup je uveden v Tab. 4.2.



Obr. 5.8 Přípravek pro op. 10.



Obr. 5.9 Přípravek pro op. 20.



Obr. 5.10 Obrobená šířka víka ojnice společně se zahloubením $\varnothing 32$ mm.



Obr. 5.11 Porovnání původního obrobku oproti nově navržené technologii.

Obr. 5.11 zobrazuje v levé části víko ojnice obrobené původní technologií a v pravé části víko ojnice obrobené dle nově navržené technologie.



Obr. 5.12 Celkově obrobená sestava ojnice na stroji Tajmac-ZPS MCV 1210.

5.3 Dosažená přesnost výrobku

V kapitole dosažené přesnosti výrobku budou blíže popsány metody a nástroje použité pro měření.

5.3.1 Drsnost povrchu

Jedná se o měření drsnosti povrchu určenou střední aritmetickou úchylkou (R_a). Hodnota drsnosti povrchu byla měřena pomocí ručního drsnoměru TR 100, New Technologies. Tento přístroj je určen zejména pro dílenské měření. Specifikace měřicího přístroje je uvedena v Tab. 5.1.

Jediným povrchem, kde je důležitá střední aritmetická úchylka povrchu R_a je interakce obou dosedacích ploch pro vzájemné spojení. Nejvyšší povolená hodnota střední aritmetické úchylky povrchu je $R_a 1,6 \mu\text{m}$. Tato hodnota je měřena na obou vyráběných dílech.

Tab. 5.1 Specifikace drsnoměru TR 100.

typové označení	TR 100
normy	ISO class 3
měřený rozsah	$R_a / 0,05-15,0 \mu\text{m}$ $R_z / 0,1-50 \mu\text{m}$
měřený parametr	R_a (ISO) R_z (DIN)
rozlišitelnost	$0,01-0,1 \mu\text{m}$
měřená délka	6 mm

- **Tělo ojnice**

Na těle ojnice je měřená plocha obráběna čelní válcovou frézou $\varnothing 12 \text{ mm}$.

Tab. 5.2 Naměřené hodnoty R_a na čele pro tělo ojnice.

Číslo měření	Naměřená hodnota $R_a [\mu\text{m}]$
1	1,22
2	1,13
3	1,19
Aritmetický průměr	1,18

Z naměřených hodnot dosedacích ploch těla ojnice je patrné, že monolitní stopková fréza dokázala obrobit povrch s hodnotou $R_a 1,18 \mu\text{m}$, což je dle firemní dokumentace vyhovující hodnota.

- **Víko ojnice**

Na součástce víka ojnice je měřená plocha obráběna čelní frézou disponující VBD s technologií Viper, což je technologie sloužící pro hladké obrábění povrchu.

Tab. 5.3 Naměřené hodnoty Ra na čele pro víko ojnice.

Číslo měření	Naměřená hodnota Ra [μm]
1	0,91
2	1,30
3	1,01
4	0,98
Aritmetický průměr	1,05

Pro součástku víka ojnice vychází průměrná hodnota Ra 1,05 μm . Měření bylo provedeno na čtyřech místech čela víka. Z výsledku vyplývá, že průměrná hodnota je dle dokumentace firmy vyhovující.

Z celkového pohledu lze usoudit, že střední aritmetická úchylka čel obou součástí se pohybuje pod hodnotou Ra 1,6 μm , která je předepsaná jako finální hodnota a v původním postupu je realizována technologií broušení. Z výsledků je také zřejmé, že bude možné zcela nahradit technologií broušení frézovací operací.

5.3.2 Rozměrová přesnost

Rozměrová přesnost bude měřena na několika rozměrech, zejména obrobené průměry a délkové rozměry.

- **Tělo ojnice**

Rozměrová přesnost otvoru $\varnothing 43,2 H8$ byla měřena třídotykovým dutinovým mikrometrem od firmy Schut.

Tab. 5.4 Třídotykový dutinový mikrometr.

typové označení	40 – 50 mm INTRIMIC
dělení	0,005 mm
přesnost	$\pm 0,003$ mm

Pro hodnotu $\varnothing 43,2 H8$ je toleranční pole $\varnothing 43,2_0^{+0,039}$. Jak je vidět z aritmetického průměru tří naměřených hodnot $\varnothing 43,2_0^{0,09}$, tak toleranční pole leží v požadovaném rozmezí. Lze tedy říci, že otvor je vyroben v požadované přesnosti dle firemní dokumentace.

Jak bylo zmíněno v kapitole 5.2, tak otvor byl vyroben pomocí kruhové interpolace frézou o $\varnothing 12$ mm. Jednotlivá měření byla prováděna v různých výškách vyrobeného otvoru. Právě z těchto výsledků bylo zjištěno, že při větším vyložení nástroje v otvoru dojde k jeho nepatrnému odpružení a tím k rozdílu 0,013 mm na $\varnothing 43,2$ mm. Doporučení pro přesnější výrobu je tedy použití většího průměru frézy.

Tab. 5.5 Naměřené výsledky $\varnothing 43,2 H8$.

Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]
1	$\varnothing 43,2_0^{+0,015}$
2	$\varnothing 43,2_0^{+0,013}$
3	$\varnothing 43,2_0^0$
Aritmetický průměr	$\varnothing 43,2_0^{+0,09}$

Pro měření výšky ojnice byl použit třmenový mikrometr od firmy Somet. Základní parametry měřicího nástroje jsou uvedeny v Tab. 5.6.

Tab. 5.6 Třmenový mikrometr Somet.

typové označení	Somet 25 – 50 mm
dělení	0,01 mm
rozsah	25-50 mm

Dle původního TP je výška obráběné ojnice požadována na rozměr $40,2_{-0,05}$, neboli spodní hranicí rozměru je 40,15 mm a horní hranicí 40,20 mm. Z Tab. 5.7 je patrné, že všechny naměřené hodnoty leží v požadované toleranci.

Tab. 5.7 Naměřené hodnoty pro šířku těla ojnice.

Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]
1	40,17
2	40,17
3	40,19
4	40,18
Aritmetický průměr	40,175

V pořadí dalším měřeným rozměrem je šířka ojnice. Jedná se o požadovaný rozměr $104_{-0,1}$ mm. Šířka ojnice byla měřena digitálním posuvným měřidlem od firmy Sylvac. Vlastnosti měřicího nástroje jsou uvedeny v Tab. 5.8.

Tab. 5.8 Vlastnosti digitálního posuvného měřidla Sylvac.

typové označení	Sylvac 0 – 150 mm
dělení	0,01 mm
rozsah	0-150 mm

Tab. 5.9 Naměřené hodnoty pro šířku těla ojnice.

Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]
1	103,91
2	103,93
3	103,98
Aritmetický průměr	103,94

Z aritmetického průměru naměřených hodnot plyne, že šířka ojnice odpovídá zadaným požadavkům společnosti.

- **Víko ojnice**

Pro výšku víka ojnice jsou předepsány stejné hodnoty jako u výše rozebraného těla ojnice. Výška je tedy stanovena na hodnotu $40,2_{-0,05}$. Průměrná hodnota z naměřených rozměrů pomocí třmenového mikrometru (viz Tab. 5.6) činí 40,19 mm, což leží v požadované toleranci.

Tab. 5.10 Naměřené hodnoty pro výšku víka ojnice.

Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]
1	40,19
2	40,20
3	40,18
4	40,19
Aritmetický průměr	40,19

Následující důležitou hodnotou je výška plochy pro dosedací plochu šroubu zajišťujícího smontovatelnost obou součástí. Tento rozměr je stanoven dle dokumentace firmy na hodnotu $32 \pm 0,1$. V Tab. 5.11 jsou uvedeny naměřené hodnoty a vypočten aritmetický průměr. Z této hodnoty vyplývá, že leží v tolerančním rozmezí, což vyhovuje zadaným požadavkům firmy.

Tab. 5.11 Naměřené hodnoty pro výšku dosedacích ploch šroubů.

Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]
1	31,97
2	31,98
3	32,02
Aritmetický průměr	31,99

Stejně jako byla měřena šířka u těla ojnice, tak bude měřena i u víka ojnice. Jedná se jako v prvním případě o požadovaný rozměr $104_{-0,1}$ mm. Použité měřidlo je uvedeno v Tab. 5.8.

Tab. 5.12 Naměřené hodnoty pro šířku víka ojnice.

Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]
1	104,0
2	103,9
3	103,9
Aritmetický průměr	103,93

Z aritmetického průměru naměřených hodnot víka ojnice lze usoudit, že rozměr je vyhovující dle firemní dokumentace.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Z důvodu dodržení důvěrných informací firmy bude vyhodnocena pouze pracnost určená v jednotce normy času [min]. Vyhodnocení se bude skládat z porovnání původní výroby ojnice a nově navržené technologie.

6.1 Porovnání pracnosti

V této kapitole bude porovnána původní technologie obrábění těla i víka ojnice s dvojicí navržených technologií.

6.1.1 Dosavadní technologie

Pro dosavadní technologii má firma k dispozici Tab. 6.1 zobrazující pracnost uvedenou v normominutách pro jednotlivá pracoviště. Ze součtů pracností pro jednotlivé obrobky vyplývá, že tělo ojnice je obráběno cca 6,3 min. Oproti tomu víko ojnice je obráběné cca 6,7 min. Čas obrábění víka ojnice je o 0,4 min delší z důvodu jedné operace navíc oproti tělu ojnice. Uvedené normominyuty zahrnují strojní čas t_{AS} a čas na manipulaci u jednotlivých pracovišť. Norma nezahrnuje čas na převozy obrobků mezi jednotlivými pracovišti.

Tab. 6.1 Pracnost výroby součástky těla a víka ojnice.

Tělo ojnice			
číslo operace	název operace	pracnost [min]	stroj
10	protahovat opláchnout	0,9177	RASA16x20 protahovačka svislá
20	odmastit	0,2948	pračka
30	vyvrtat	1,8332	AI-Z509 JÚS vrtací
40	protahovat opláchnout	0,9657	MP7783 protahovačka svislá
50	odmastit	0,2948	pračka
60	vrtání + zafrézování drážky 100% kontr.	1,9659	AI-Z539 JÚS vrtací
Víko ojnice			
číslo operace	název operace	pracnost [min]	stroj
10	protahovat opláchnout	0,9177	RASA16x20 protahovačka svislá
20	odmastit	0,1873	pračka
30	frézovat	2,5574	FGU32 frézka vodorovná univerzální
40	protahovat opláchnout	0,9657	MP7783 protahovačka svislá
50	odmastit	0,1873	pračka
60	vrtat zarovnat	1,7203	AI-Z540 JÚS vrtací
70	sražení ostřin	0,189	VS32/2 vrtačka svislá

Suma:

Tělo ojnice	6,272	min
Víko ojnice	6,725	min

6.1.2 Nově navržená technologie

Pro nově navrženou technologii je strojní čas t_{AS} [min] jednotlivých operací vypočten dle vztahu 3.12. Nejprve je ovšem vypočtena posuvová rychlost v_f [mm.min⁻¹] dle vztahu 3.9. Dále je vypočtena dráha nástroje ve směru posuvového pohybu L [mm] podle výkresu, a z těchto dvou hodnot je vypočten strojní čas t_{AS} . Jednotlivé časy jsou uvedeny v normominutách (viz Tab. 6.2 a Tab. 6.3) Pro vzorový výpočet je vybrána první operace u víka ojnice. Obráběná délka této operace je $L = 209$ mm. Hodnota posuvu na otáčku f_n je stanovena na hodnotu 3,9 mm a otáčky nástroje n vzhledem k jeho průměru činí 920 min⁻¹.

$$v_f = 3,9 \cdot 920 = 3587,67 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Pomocí obráběné délky vypočteme dobu obrábění t_{AS} .

$$t_{AS} = \frac{209}{3587,67} = 0,058 \text{ min}$$

Tento postup je dále aplikován na všechny operace a je určena celková doba obrábění jednotlivých dílů.

Výsledná hodnota bude zvýšena o čas nutný pro přejezdy a výměny nástrojů. Čas na výměnu nástroje je dle katalogu stroje určen na $t_n = 0,058$ min. Rychloposuv pro přejezd do základní polohy pro výměnu nástroje $v_r = 40\,000$ mm.min⁻¹. Vzdálenost mezi základní polohou pro výměnu nástroje a obrobkem $s = 1100$ mm. Pro nový návrh těla ojnice je nutné vyměnit nástroj 12krát.

Každý TP má různý počet výměn nástrojů. Proto vzorový výpočet patří pouze pro určitý technologický postup. Vztah 6.2 udává celkovou dobu výměn a přejezdů nástroje pro jednotlivý TP.

$$T_{ov} = w \cdot \left(\frac{s}{v_r} + t_n \right) \quad (6.1)$$

kde:

T_{ov}	[min]	- čas na výměnu nástroje,
w	[-]	- počet výměn nástroje,
v_r	[mm.min ⁻¹]	- rychlost rychloposuvu,
s	[mm]	- vzdálenost,
t_n	[min]	- čas výměny nástroje.

$$T_{ov} = 12 \cdot \left(\frac{1100}{40000} + 0,058 \right) = 1,026 \text{ min}$$

Suma dílčích časů normy bude zvýšena o teoreticky spočtenou hodnotu 1,026 min.

Tab. 6.2 Tabulka vypočtených strojních časů t_{AS} pro tělo ojnice.

VÝROBNÍ POSTUP			Název celku:	Tělo ojnice				
Dne:		Vyhotovil:	Tenora	Materiál: 14 240.3	Polotovár:	Výkovek		
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Počet:	Popis práce v operaci:			Nástroj:	Norma: (min)	
10	MCV 1210	2x	Frézovat výšku ojnice na 42,4 mm			T1	0,096	
		2x	Frézovat šířku ojnice na 104 ^{-0,1} mm			T2	0,193	
		1x	Vrtat Φ 27			T5	1,286	
		1x	Kruhovou interpolací obrobit Φ 43,2 H8			T2	3,800	
20	MCV 1210	2x	Frézovat výšku ojnice na 40,2 _{-0,05} mm			T1	0,096	
		1x	Frézovat čelo			T2	0,088	
		1x	Frézovat Φ 68,3 ^{+0,1} mm			T2	0,292	
		1x	Frézovat drážku 5 D11			T8	0,427	
			Otočit stůl o 90°					
		2x	Vrtat Φ 12,5 mm			T6	1,073	
		2x	Kruhovou interpolací obrobit Φ 14,2 H11			T2	0,366	
		2x	Závitovat M14 x 1,5			T11	0,137	
		2x	Vrtat Φ 4,7 mm			T7	0,082	
		2x	Zahloubit 30° u Φ 4,7 mm			T10	0,101	
					Suma:	8,035		
					Zvýšeno o T _{ov}	9,065		

Tab. 6.3 Tabulka vypočtených strojních časů t_{AS} pro víko ojnice.

VÝROBNÍ POSTUP			Název celku: Víko ojnice		
Dne:	Vyhotovil:	Tenora	Materiál: 14 240.3	Polotovár: Výkovek	
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Počet:	Popis práce v operaci:	Nástroj:	Norma: (min)
10	MCV 1210	1x	Frézovat čelo na 34,3 ±0,1 mm	T1	0,058
		2x	Frézovat šířku víka na 104 ^{-0,1} mm	T2	0,152
		2x	Vrtat Φ 12,5 mm	T6	1,073
			Kruhovou interpolací obrobit Φ 14,2 H11	T2	1,219
		2x	Vrtat Φ 4,7 mm	T7	0,082
		2x	Sražení 30° u Φ 4,7 mm	T10	0,101
20	MCV 1210	2x	Frézovat Φ 32 na výšku 33,8 _{-0,1} mm	T4	0,101
			Zahloubit 0,4x45°	T9	0,075
		2x	Frézovat šířku ojnice 40,2 _{-0,05} mm	T3	1,505
			Otočit stůl o 90°		
		1x	Frézovat Φ 68,3 ^{+0,1} mm	T2	0,304
		1x	Frézovat drážku 5 D11	T8	0,427
				Suma:	5,097
				Zvýšeno o T _{ov}	6,042

6.1.3 Nově navržená technologie s použitím produktivních nástrojů

Pro nově navrženou technologii s použitím výkonnějších řezných nástrojů je stanoven podobný postup výpočtu strojního času t_{AS} jako u technologie uvedené v kapitole 6.1.2. Řezné podmínky nástrojů jsou uvedeny v kapitole 4.4.

Tab. 6.4 Tabulka vypočtených strojních časů t_{AS} pro tělo ojnice.

VÝROBNÍ POSTUP				Tělo ojnice	
Dne:	Vyhotovil:	Tenora	Materiál: 14 240.3	Polotovár: Výkovek	
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Počet:	Popis práce v operaci:	Nástroj:	Norma: (min)
10	MCV 1210	2x	Frézovat výšku ojnice na 42,4 mm	S1	0,127
		2x	Frézovat šířku ojnice na 104 ^{+0,1} mm	S2	0,014
		1x	Vrtat d 43	S4	0,127
20	MCV 1210	2x	Frézovat šířku ojnice na 40,2 ^{-0,05} mm	S1	0,127
		1x	Frézovat čelo	S2	0,006
		1x	Frézovat d 68,3 ^{+0,1} mm	S2	0,021
		1x	Frézovat drážku 5 D11	S3	0,427
			Otočit stůl o 90°		
		2x	Vrtat d 12,5 + vyvrtat 14,2 H11 do hl. 10 mm	S7	0,098
		2x	Závitovat M14 x 1,5	T11	0,137
		2x	Vrtat d 4,7 mm + sražení 30°	S8	0,016
				Suma:	1,100
				Zvýšeno o T_{ov}	1,959

Tab. 6.5 Tabulka vypočtených strojních časů t_{AS} pro víko ojnice.

VÝROBNÍ POSTUP				Víko ojnice	
Dne:	Vyhotovil:	Tenora	Materiál: 14 240.3	Polotovár: Výkovek	
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Počet:	Popis práce v operaci:	Nástroj:	Norma: (min)
10	MCV 1210	2x	Frézovat čelo na 34,3 ±0,1 mm	S1	0,047
		2x	Frézovat šířku víka na 104 ^{+0,1} mm	S2	0,011
		2x	Vrtat d 12,5 mm	S5	0,066
		2x	Vrtat 14,2 H11	S6	0,068
		2x	Vrtat d 4,7 mm + sražení 30°	S8	0,016
20	MCV 1210	2x	Frézovat d 32 na výšku 33,8 ^{-0,1} mm	T4	0,101
		2x	Zahloubení 90°	T9	0,075
		2x	Frézovat šířku ojnice 40,2 ^{-0,05} mm	S2	0,028
		1x	Otočit stůl o 90°		
		1x	Frézovat d 68,3 ^{+0,1} mm	S2	0,029
		1x	Frézovat drážku 5 D11	S3	0,427
				Suma:	0,868
				Zvýšeno o T_{ov}	1,726

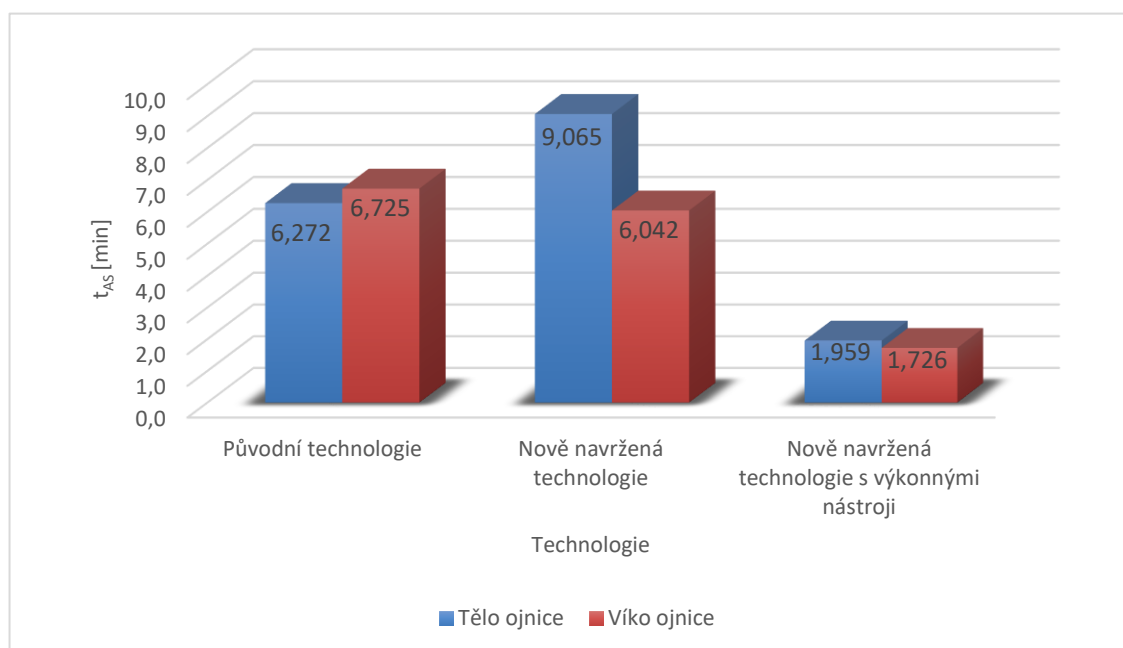
• Srovnání technologií

Tab. 6.6 Srovnání všech technologií.

	Původní technologie	Nově navržená technologie	Procentuální rozdíl	Nově navržená technologie s výkonnými	Procentuální rozdíl
Tělo ojnice	6,272	9,065	-45%	1,959	69%
Víko ojnice	6,725	6,042	10%	1,726	74%

Srovnání navržených technologií vůči původní nám ukazuje, že nově navržená technologie u těla ojnice je méně produktivní a to o 45%. U víka ojnice došlo k mírnému zvýšení produktivity cca 10%.

Při použití nově navržené technologie a využití produktivních nástrojů uvedených v kapitole 4.4 je možné výrobní čas u těla ojnice snížit až o 69% a u víka ojnice dokonce o 74%.



Obr. 6.1 Porovnání strojních časů popsanych technologií.

• Roční produkce

Modelově pro rok 2017 je vypočteno 250 pracovních dnů. V Tab. 6.7 je vypočtena roční produkce jednotlivých součástek pro navržené technologie. V kapitole 6.1.2 a 6.1.3 jsou vypočteny strojní časy t_{AS} . Pokud vydělíme počet pracovních minut za rok strojním časem jednotlivé technologie, tak získáme roční produkci určenou v kusech (viz Tab. 6.7).

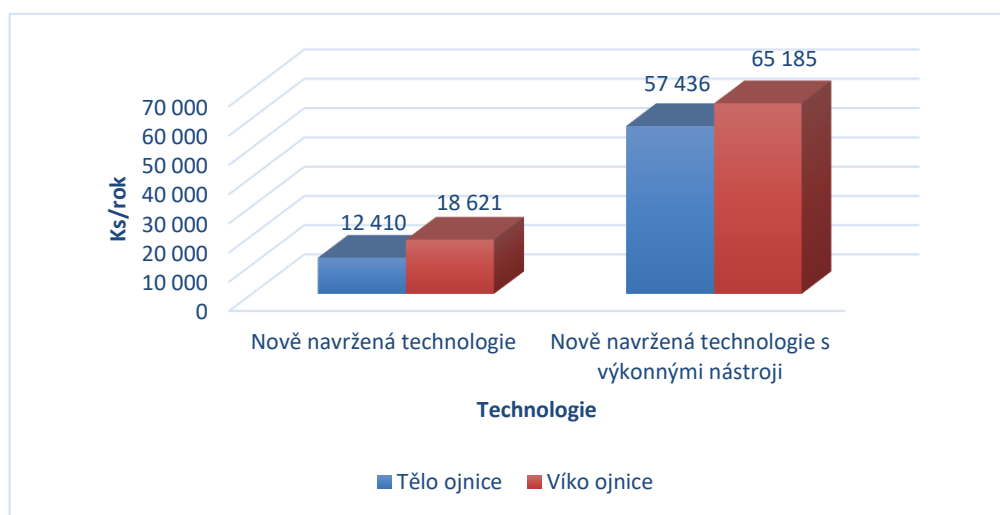
Jak bylo výše zmíněno, tak potřebná roční produkce součástek se pohybuje v rozmezí 14 000–16 000 kusů za rok. Z výsledků plyne, že nově navržená technologie dokonce převyšuje požadované rozmezí, což se dá soudit jako kladný výsledek s ohledem na to, že při naplnění požadovaného množství výrobků bude možné stroj použít pro další práci.

Tab. 6.7 Roční produkce navržených technologií.

Rok 2017		
Počet pracovních dnů	250	dní
Pracovní směna	7,5	hod
Počet pracovních hodin	1 875	hod
Počet pracovních minut	112 500	min

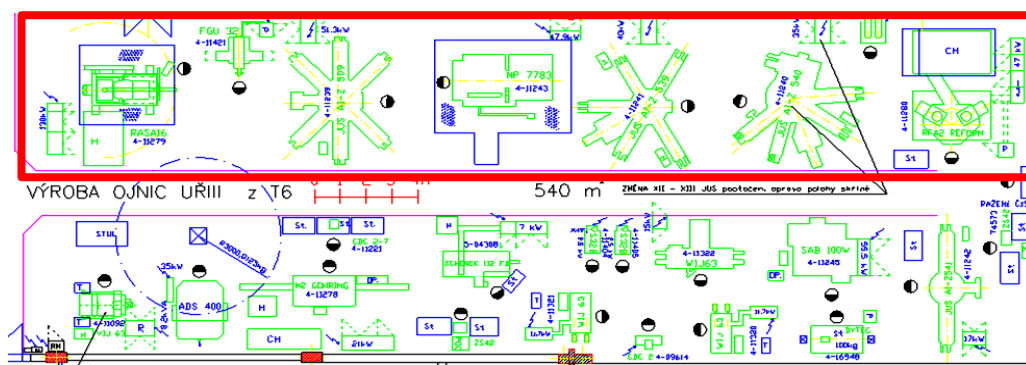
Nově navržená technologie		
Tělo ojnice	12 410	ks
Víko ojnice	18 621	ks

Nově navržená technologie s výkonnými nástroji		
Tělo ojnice	57 436	ks
Víko ojnice	65 185	ks



Obr. 6.2 Spočtená roční produkce pro navržené technologie.

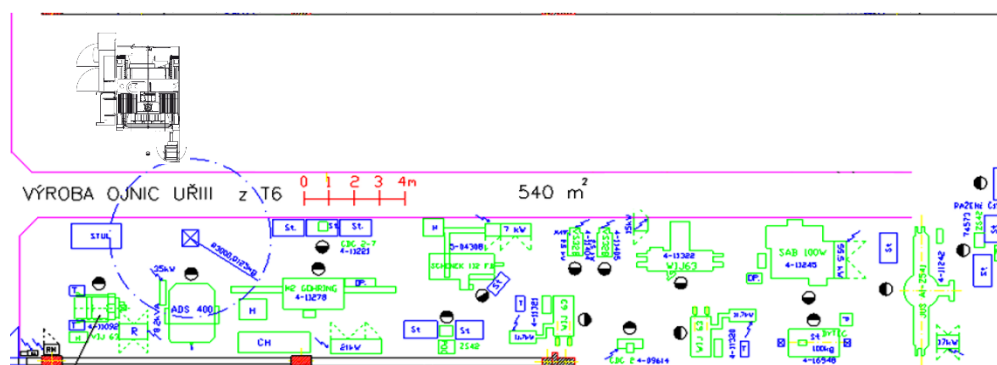
6.2 Porovnání výrobních prostor



Obr. 6.3 Layout současného pracoviště [23].

Dle původního layoutu pracoviště (viz Obr. 6.3) je patrné, že hrubovací část výroby zabírá téměř polovinu výrobních prostor cca 232 m². Pomocí nově navržené technologie bude možné výrazně omezit rozlohu dosavadních potřebných prostor. Nahrazení bude spočívat ve výměně sedmi původních strojů za jedno menší obráběcí centrum, která bude schopné vyrobit obě části ojnice v požadované přesnosti s použitím navržených přípravků a nástrojů.

Nově navržené obráběcí centrum Tajmac-ZPS MCV 1210 disponuje rozměry 3,6 x 4,5 m což činí rozlohou 16,2 m². Při odečtení této rozlohy stroje od hrubovací plochy obrobny dostaneme úsporu výrobních prostor o téměř 216 m².



Obr. 6.4 Layout pracoviště s nově navrženým strojem [23].

6.3 Porovnání obsluhy

Na Obr. 6.3 je vidět současné rozložení pracovních strojů při hrubování ojnice. Oproti tomu je na Obr. 6.4 zobrazeno v měřítku zařazení navrženého obráběcího centra do prostoru obrobny ojníc. Při kontinuální výrobě původní technologií je zapotřebí 7 pracovníků výroby pro obsluhu každého ze sedmi strojů.

Nová technologie nabízí využití pouze jednoho pracovníka na směnu pro dodržení zmíněné roční produkce. Při využití nově navržené technologie bude roční produkce obou částí (těla i víka ojnice) v požadovaném množství s použitím dvousměnného provozu.

Pro druhou, nově navrženou technologii s využitím výkonných nástrojů nebude nutné využívat dvousměnný provoz pro zmíněnou požadovanou roční produkci. Z výsledných výpočtů roční produkce je zřejmé, že pracoviště bude disponovat velkou produktivitou a při naplnění výrobní dávky bude možné stroj využít pro jiné účely.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zefektivnění výrobního procesu dvou částí sestavy ojnice. Návrh byl zpracován pro společnost Zetor Tractors a.s., která využívá součástku pro své motory.

Byly navrženy dva způsoby zefektivnění výroby těla i víka ojnice. V nových návrzích se jednalo především o:

- navržení upínacích přípravků,
- návrh technologických postupů
- návrh obráběcího stroje,
- návrh nástrojového vybavení,
- návrh řezných podmínek.

Dále pak první nově navržená technologie byla testována na vybraném stroji společně s testovacími přípravky, nástroji a řeznými podmínkami. Na závěr byly změřeny důležité délkové rozměry. Následně byla změřena i hodnota střední aritmetické úchylnosti povrchu (R_a) důležitých ploch. Všechny měřené parametry byly vyhodnoceny jako vyhovující podle firemní dokumentace.

Druhý návrh, jenž disponuje totožným technologickým postupem, ovšem na rozdíl od prvního návrhu využívá navržené výkonné nástroje.

V kapitole Technicko-ekonomické zhodnocení byly vypočteny strojní časy výroby jednotlivých součástek a porovnány s původní technologií. Následoval výpočet roční produkce jednotlivých součástek s následným v porovnáním obsluhy oproti původní technologii. Získané výsledky jsou:

Navržená technologie:

- strojní čas výroby těla ojnice se zvýší o 45%,
- strojní čas výroby víka ojnice se sníží o 10%,
- roční produkce těla ojnice bude dosahovat 12 410 kusů,
- roční produkce víka ojnice bude dosahovat 18 261 kusů.

Navržená technologie s výkonnými nástroji:

- strojní čas výroby těla ojnice se sníží o 69%,
- strojní čas výroby víka ojnice se sníží o 74%,
- roční produkce těla ojnice bude dosahovat 57 436 kusů,
- roční produkce víka ojnice bude dosahovat 65 185 kusů.

Celkově dojde k úsporám na:

- výrobních prostorách cca 216 m²,
- obsluze strojů o téměř 6 pracovníků,
- úspora nákladů na náročnou údržbu protahovacích trnů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Wikipedie. *Zetor* [online]. Brno: Wikimedia, 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zetor>
- [2] Historie. *Zetor* [online]. Brno: Zetor Gallery, 2010 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://zetor.testujeme.cz/historie>
- [3] Pro média. *Zetor Tractors a.s.* [online]. Brno: Webdesign, 2017 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.zetor.cz/pro-media>
- [4] Historie: Historické milníky Zetor 1946 - 2016. *Zetor Tractors a.s.* [online]. Brno: Giant, 2016 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: <http://www.zetor.cz/historie>
- [5] 1. až nejnovější Zetory. *Historie Zetoru* [online]. Brno, 2014 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.historiezetoru.estranky.cz/clanky/1.-az-nejnovejsi-zetory.html>
- [6] Nízkolegované konstrukční oceli třídy 14, jejich složení a tepelné zpracování. *Tumlikovo* [online]. Praha: TumliKOVO, 2010 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/nizkolegovane-konstrukcni-oceli-tridy-14-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
- [7] Feron. *Materiálové normy* [online]. Praha: Feron, 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php
- [8] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 8071833371.
- [9] *Technologie 1: Technologie obrábění 2. část* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2004 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [10] Protahování a protlačování. In: *Střední průmyslová škola strojírenská Kolín* [online]. Kolín: SPŠ-KO, 2011 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Protahov%C3%A1n%C3%AD%20a%20protla%C4%8Dov%C3%A1n%C3%AD.pdf
- [11] *Interní dokument: Technologický postup výroby ojnice*. Brno, 1980.
- [12] *Technologie 1: Technologie obrábění 1. část* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [13] BRYCHTA, Josef. *Nové směry v progresivním obrábění* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2017-03-10]. ISBN 9788024815053. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf>
- [14] *Technologie 1: Technologie obrábění 3. část* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf
- [15] Technologie obrábění. ČEP PH.D, doc. *Broušení a dokončovací operace obrábění* [online]. 1. Ostrava: Vysoká škola Báňská, 2013, s. 1-34 [cit. 2017-02-03]. ISBN 978-80-248-3012-4.

- [16] Broušení. *Technologie stroje a zařízení* [online]. Praha, 2012 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T17.pdf>
- [17] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 8073610337.
- [18] CoroMill 245. *Sandvik Coromant* [online]. Brno: Sandvik Coromant, 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromill_245/Pages/default.aspx
- [19] CoroMill Plura. *Sandvik Coromant* [online]. Brno: Sandvik Coromant, 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromill_plura/Pages/default.aspx
- [20] CoroDrill 880. *Sandvik Coromant* [online]. Brno: Sandvik Coromant, 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corodrill_880/Pages/default.aspx
- [21] CoroDrill 860. *Sandvik Coromant* [online]. Brno: Sandvik COromant, 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corodrill_860/Pages/default.aspx
- [22] Portálová obráběcí centra: Portálové obráběcí centrum MCV 1210. *Tajmac - ZPS* [online]. Zlín: Tajmac-ZPS, 2012 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/cs/MCV-1210>
- [23] *Layout pracoviště ojníc*. 1998. Brno: Zetor Tractors a.s., 1998.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
Al ₂ O ₃	umělý korund
HSS	rychlořezná ocel
SK	slinutý karbid
TiN	titan nitrid
TiAlN	titan aluminium nitrid
TP	technologický postup
VBD	vyměnitelná břitová destička

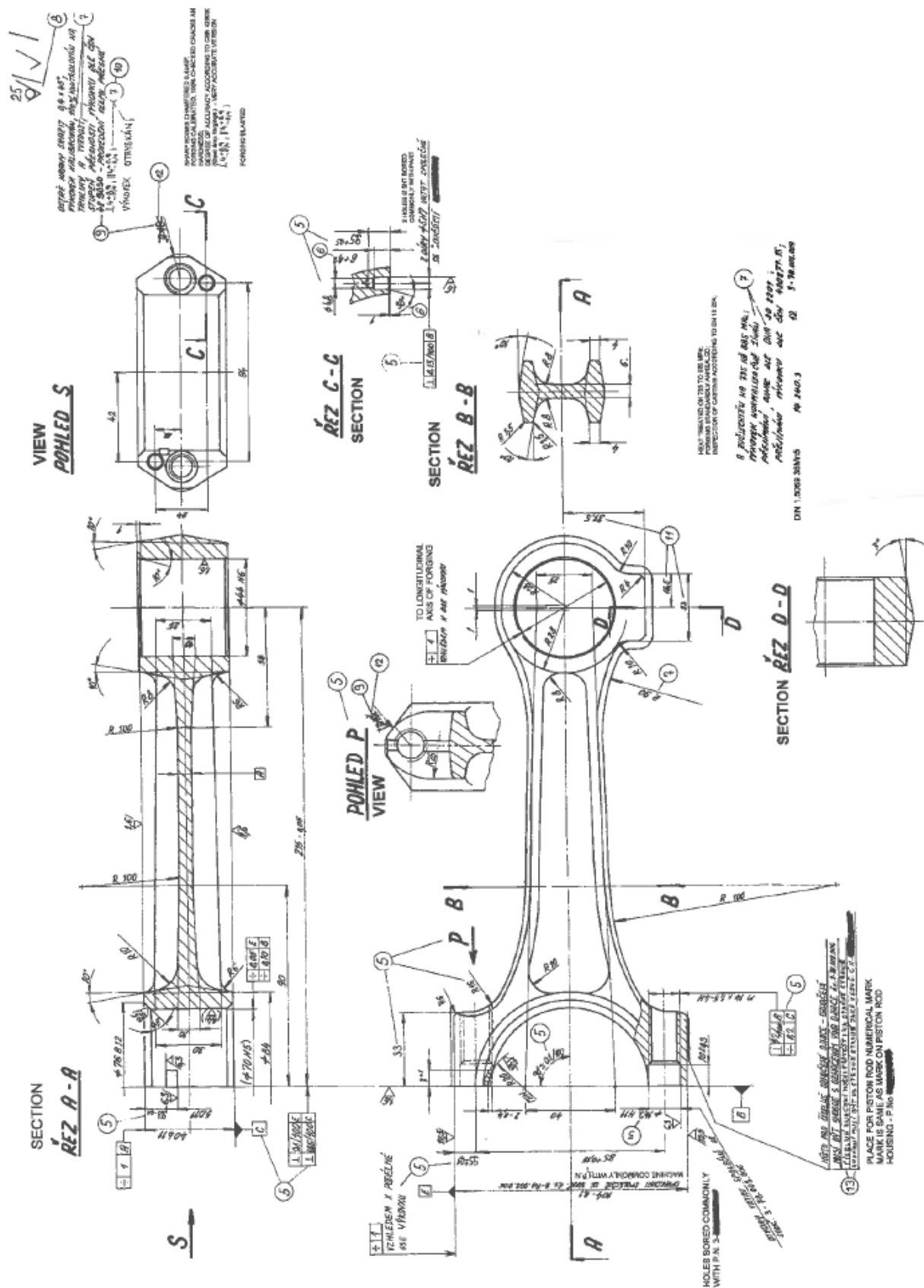
Symbol	Jednotka	Popis
B	[mm]	šířka obráběného materiálu
D	[mm]	průměr
L	[mm]	dráha nástroje ve směru posuvového pohybu
R _a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
T	[min]	čas obrábění
T _{ov}	[min]	čas na výměnu nástroje
a _p	[mm]	šířka záběru ostří/axiální hloubka řezu
e	[mm]	vzdálenost osy nástroje od osy obrobku
f	[mm]	posuv nástroje na otáčku
f _z	[mm]	posuv na zub
i	[-]	počet záběrů
l	[mm]	délka
l _n	[mm]	délka náběhu
l _p	[mm]	délka přeběhu
l _{pf}	[mm]	vzdálenost středu nástroje od konce obrábění
n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje
p	[mm]	výška broušené plochy
s	[mm]	dráha nástroje do základní polohy
t	[mm]	rozteč

t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
V_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
V_e	[m.min ⁻¹]	rychlost řezného pohybu
V_f	[mm.min ⁻¹]	posuvová rychlost
V_r	[mm.min ⁻¹]	rychlost rychloposuvu
w	[-]	počet výměn nástroje
z	[-]	počet zubů
ε	[°]	vrcholový úhel vrtáku
K_r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří

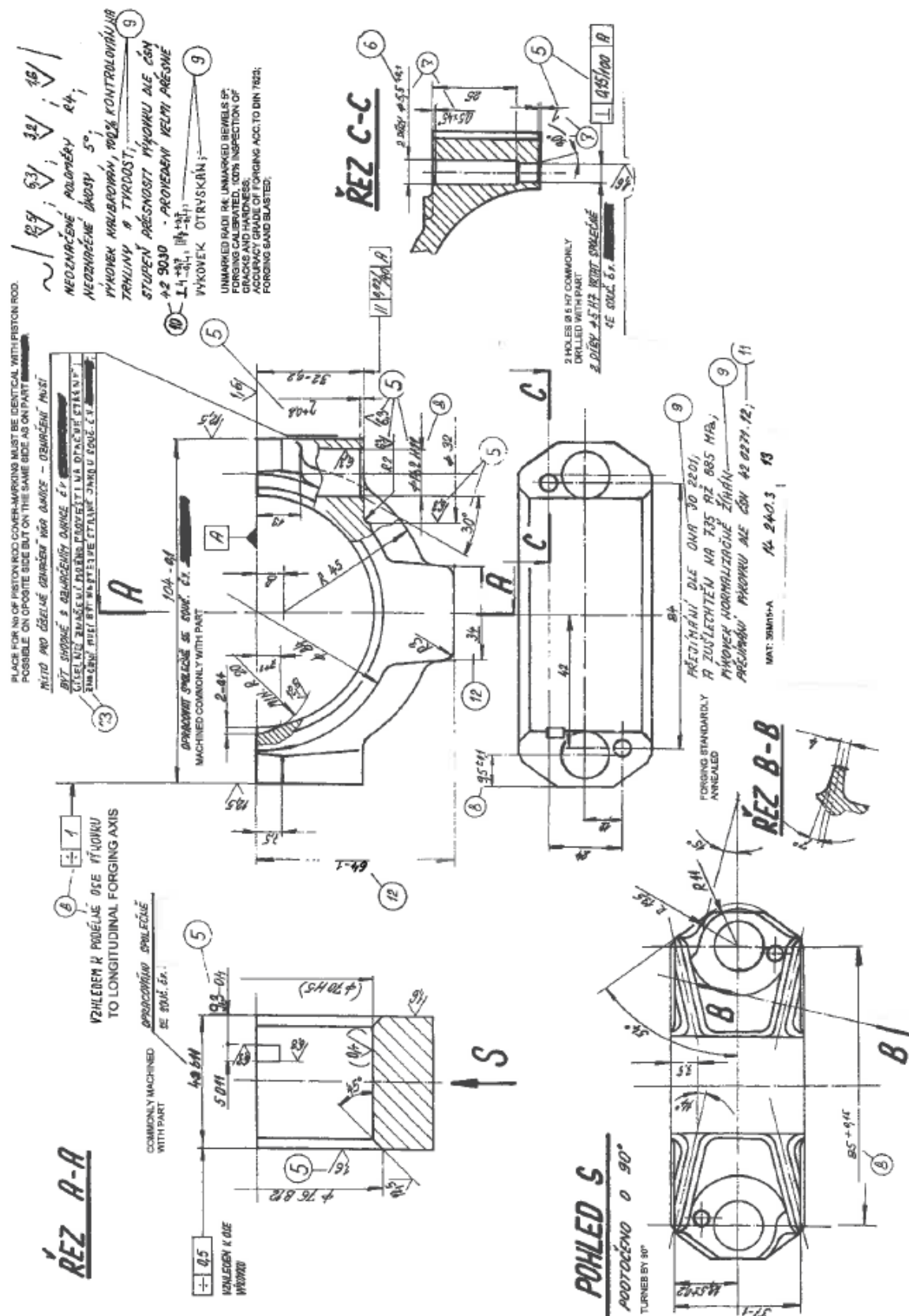
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres těla ojnice
Příloha 2	Výkres víka ojnice
Příloha 3	Původní technologický postup těla ojnice
Příloha 4	Původní technologický postup víka ojnice
Příloha 5	Technické parametry obráběcího centra Tajmac-ZPS MCV 1210
Příloha 6	Cenová nabídka tvarových vrtáků K-Tools

PŘÍLOHA 1



PŘÍLOHA 2



PŘÍLOHA 3

VÝROBNÍ POSTUP				Název celku :	Tělo ojnice
Dne :		Vyhotovil :		Kontroloval :	Polotovar: Výkovek
Číslo op. pořadové :	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště :	Dílna :	Popis práce v operaci :		
1500	Protahovačka RASA 16 KLINK		Protahovat Ra3,2 š=42,6 na š=40,2 ^{-0,05} Opláchnout		
1501	Pračka		Odmastit dle postupu PÚ č.04		
1600	JUS AIZ 509		Vyvrtat Ra3,2 D 43,2 H8 vč. sraž hran 2x 10° do hl. 3,4		
1700	Protahovačka MP 7783		Protahovat čelo š=104 ^{-0,1} na délku 215,3 ^{-0,1} vč D 68,3 ^{+0,1} Opláchnout		
1701	Pračka		Odmastit dle postupu PÚ č.04		
1800	JUS AIZ 539		vrtat 2x D12,5 pro M14x1,5 vč. závitu vrtat 2x D14,2 do hl. 10,3 ^{+0,3} vrtat 2x D4,7 srazit hranu 30° 2x fréz. pojistku pouzdra 5H11		
2000	Bruska RFA 2 REFORM		brousit čelní plochy na délku 215 ^{-0,05} od osy otvoru		
2100	Fortuna Zs 42 + ručně		sražení hran 0,4x45° ruční úprava		

PŘÍLOHA 4

		VÝROBNÍ POSTUP		Název celku	Víko ojnice	
Dne :		Vyhotovil :	Tenora	Kontroloval :	Polotovár:	Výkovek
Číslo op. pořadové :	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště :		Dílňa :	Popis práce v operaci :		
Orientační:	Třídící číslo :					
1500	Protahovačka RASA 16 KLINK			Protahovat Ra3,2 š=42,6 na š=40,2 ^{-0,05}		
				Opláchnout		
1501	Pračka			Odmastit dle postupu PŮ č.04		
1602	Frézka FGU 32			frézovat plochu čela víka na délku 34,3+/-0,1		
1700	Protahovačka MP 7783			Protahovat čelo š=104 ^{-0,1} na délku 34,45 ^{-0,3} a 33,8 ^{-0,1} vč D68,3 ^{+0,1}		
				Opláchnout		
1701	Pračka			Odmastit dle postupu PŮ č.04		
1800	JUS AIZ 540			vrtat 2x D14,2 H11 skrz		
				vrtat 2x D4,7		
				fréz. zaoblení R2 na D32		
				srazit hranu 30° 2x		
				fréz. pojistku pouzdra 5H11		
1901	Vrtačka V 20/2			srazit ostřiny 0,2x45°		
				zajistit součástproti otáčení		
2000	Bruska RFA 2 REFORM			brousit čelní plochy na délku 32 ^{-0,05}		
2100	Fortuna Zs 42 + ručně			sražení hran 0,4x45°		
				ruční úprava		

PŘÍLOHA 6

NABÍDKA ZBOŽÍ A SLUŽEB									
<u>Dodavatel:</u> Ing. Zdeněk Krátký Nábřeží 7037 760 01 Zlín IČ : 63462583									